



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MATTI SUVANTO
PIENIKOKOISEN SKAALAUTUVAN JOUSTAVAN TÄRYSYÖTTÖ-
LAITTEEN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Minna Lanz
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 26. huhtikuuta
2017

TIIVISTELMÄ

MATTI SUVANTO: Pienikokoisen skaalautuvan joustavan tärysyöttölaitteen suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 61 sivua, 5 liitesivua

Joulukuu 2017

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Minna Lanz

Avainsanat: syöttölaite, kokoonpano, joustava tuotanto

Työ tehtiin kokoonpanosoluihin joustavia syöttölaitteita valmistavalle yritykselle. Aiemmat yrityksen syöttölaitteet syöttivät erilaisia osia n. 6 mm halkaisijaan saakka. Yritys aikoi valmistaa syöttölaitteita myös suuremmille osille, mutta laitteen paineilmakäyttöinen väärässä asennossa olevien osien palautus ei ole suoraan skaalattavissa ja sen tilalle tuli kehittää skaalautuva menetelmä.

Asiakaslähtöinen valmistus on tarkoittanut yhä pienempien erien valmistusta ja kasvannutta tuotteiden variaatiota. Tuotannossa on siksi selkeä trendi siirtyä yhä joustavampaan valmistukseen ja kokoonpanoon. Kasvanut joustavuus näkyy esimerkiksi kaksikäsisivartissa, ihmisen käsiä imitoivissa robottimalleissa ja ihmisen kanssa samassa tilassa työskentelevissä roboteissa.

Syöttölaitteen tärytason mekaniikkaa selvitettiin kirjallisuuskatsauksessa. Selvisi, että tärytason taajuus kannattaa pitää alhaisena, mutta kuitenkin riittävän korkeana, että osat pomppivat tärytasolla eteenpäin. Kilpailijakartoituksessa nähtiin kaksi tyypillistä syöttölaiterakennetta. Kaksi vierekkäistä, eri suuntiin osia kuljettavaa tärytasoa olisi mahdollista toteuttaa edullisemmilla toimilaitteilla. Vaihtoehtoinen toimintamalli on kaksi peräkkäistä tärytasoa, jossa ylempi varastotaso annostelee varsinaiselle syöttötasolle osia vähän kerrallaan. Kahden vierekkäisen tärytason malli olisi toteutettavissa edullisemmilla mekaniikkakomponenteilla, mutta mallia simuloidessa havaittiin, ettei osa vaihda luotettavasti asentoa siirtyessään vierekkäisten tasojen välillä. Osan kääntyminen on vaatimus syöttölaitteelle, koska kokoonpanorobotilla tulee aina olla oikeassa asennossa olevia osia poimittavana.

Syöttölaitteen rakenteeksi muodostui kahden peräkkäisen tärytason malli, joka puolestaan vaatii toimiakseen kaksitoimisen toimilaitteen osien ohjaamiseksi kumpaankin suuntaan tärytasolla. Toimilaitteeksi valitui äänikelatoimilaite (voice coil actuator), jota käytettäessä tärytason värinän suuntaa ja suuruutta voidaan muuttaa joustavasti. Jotta tärytasolla olevat osat saataisiin käännettyä, tasoa isketään patenttiselvityksessä löydetyn menetelmän avulla alta päin. Tuloksena työssä saatiin syöttölaitteen rakenteen hahmotelma, lista vaatimuksia syöttölaitteelle, toimilaittevalinnat syöttölaitteen tärytasolle ja materiaalisia yhtälöitä syöttölaitteen suunnittelun tueksi.

ABSTRACT

MATTI SUVANTO: Designing a small, scalable and flexible vibratory feeder
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 61 pages, 5 Appendix pages
December 2017
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
Major: Production technology
Examiner: Professor Minna Lanz

Keywords: feeding device, assembly, flexible production

This thesis was made for a company building flexible feeding devices. The previous feeders the company has made can feed parts up to 6 mm. The company goal is to manufacture feeding device to suit larger parts as well. However, the method of returning wrongly orientated parts using pneumatics was not scalable and a new method scalable method was needed.

Customer oriented manufacturing has led to smaller batch sizes and greater variation in products. Clear trend in production is to move towards more flexible systems in manufacturing and assembly. Increased flexibility can be seen for example in two armed robots which resemble more human with its two arms. Also, robots that can collaborate with human are developed.

The mechanics of the vibration platform was researched with literature overview. It occurred that the frequency of the feeding platform is to keep as low as possible but high enough for the parts to bounce forward on the platform. Researching the competitors two different main models were discovered. The vibratory platforms can be side by side both moving parts to different direction circulating the parts. Another possibility is to put the vibratory platforms after each other. Then the first, upper platform, works as a storage and rations small batches to the main feeding platform. The model of two platforms side by side could be executed with inexpensive mechanics but simulation shows that the parts don't always change orientation between the platforms. Reliable change in part orientation is a requirement since the robot needs to have always parts in right orientation to pick.

The model for the device came to be the one where the platforms are after each other even it requires more expensive actuators. Voice coil actuator was chosen for the actuator which allows flexible adjustment of amplitude and direction of the vibration. The method, however, required another method to turn the parts on the platform. Such method was discovered in patent research. Results of this thesis are the working principle of the feeding device, list of requirements for the device and types of actuators for the vibratory platforms. Equations to support the mechanical design are also results of this thesis.

ALKUSANAT

Tämä työ kirjoitettiin Wisematic Oy:lle, jossa toimin mekaniikkasuunnittelijana. Työn kautta sain mahdollisuuden tutustua yrityksen alkuaikoihin ja suunnitella myytävää tuotetta. Haluan kiittää Wisematicin Riku Heikkilää työn aiheesta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia työstä kiinnostuneita tuttuja ja läheisiä.

Tampereella 22.12.2017

Matti Suvanto

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | JOHDANTO | 1 |
| 2. | TUTKIMUS SYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELULLE | 3 |
| 2.1 | Trendit kulutuksessa ja niiden vaikutus valmistus- ja kokoonpanotekniikkaan | 3 |
| 2.2 | Automaatiojärjestelmä ja sen osa-alueet | 5 |
| 2.2.1 | Automaatio teollisuuden ulkopuolella | 5 |
| 2.2.2 | Automaatio tuotteiden valmistuksessa | 5 |
| 2.2.3 | Automaatio tuotteiden kokoonpanossa | 6 |
| 2.3 | Kokoonpantava tuote | 8 |
| 2.4 | Toimilaitteet automaattisessa kokoonpanossa | 8 |
| 2.4.1 | Robotit | 8 |
| 2.4.2 | Robottien työkalut ja tarraimet | 11 |
| 2.4.3 | Konenäköjärjestelmät | 15 |
| 2.4.4 | Syöttölaitteet | 16 |
| 2.5 | Konedirektiivi ja turvallisuustarkastelu | 18 |
| 2.6 | Tärytason liikemekaniikka | 19 |
| 2.7 | Tärytason mekaniikan toteuttaminen periaatetasolla | 22 |
| 2.8 | Syöttölaiteperheen aiempien syöttölaitteiden toiminta | 27 |
| 2.9 | Kilpailijat ja patentit | 30 |
| 3. | SYÖTTÖLAITTEEN VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY | 40 |
| 3.1 | Mahdollisesti toteuttavat ominaisuudet, joista on asiakkaalle lisäarvoa | 44 |
| 3.2 | Mekaniikkasuunnittelun pohjatyö | 44 |
| 3.2.1 | Runko | 44 |
| 3.2.2 | Tärytason materiaali ja toiminnallisuus | 45 |
| 3.2.3 | Toimilaitteiden mitoitus | 48 |
| 3.3 | Muu toiminnallisuus ja integrointi | 52 |
| 3.4 | Turvallisuus | 53 |
| 4. | TULOKSET | 54 |
| 5. | YHTEENVETO | 56 |
| | LÄHTEET | 57 |
| | LIITE I: VALMIIT TÄRYTOIMILAITTEET | 62 |
| | LIITE II: VAIHDETTAVA OSASÄILIÖ | 63 |
| | LIITE III: RISKIANALYYSI | 64 |

KUVALUETTELO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Kuva 1: Integrointisuunnat robottijärjestelmässä (mukaillen Reinhart et al. 2011).</i> | 4 |
| <i>Kuva 2: Kappaleen kokoonpanolinja, jossa on kuvattu yksi kokoonpanoyksikkö (Boothroyd 2005, s. 19).</i> | 7 |
| <i>Kuva 3: Robottikinematiikkojen päätyypit. Käsivarsirobotti (A), SCARA (B), delta (C) ja karteellinen robotti (D). Mukaillen Wilson (2015).</i> | 9 |
| <i>Kuva 4: Vasemmalla ABB Yumi kaksikäsiartinen robotti ja oikealla KUKA iiwa kevytrakenteinen robotti, joka voi työskennellä ihmisen kanssa. (Krüger et al. 2017, s. 721; KUKA)</i> | 11 |
| <i>Kuva 5: Schunkin 2-leikainen tarrain. (Wilson s. 59, 2015).</i> | 12 |
| <i>Kuva 6: Imukuppitarrain SCARA-robottiin. Tarraimeen yhdistetty myös rengasvalo ja kamera.</i> | 13 |
| <i>Kuva 7: Feston imukuppitarrain. (Festo, 2017)</i> | 13 |
| <i>Kuva 8: Robotin tarrain, jonka tartuntaväliä voidaan säätää työvaiheiden aikana, jotta samaa työkalua voitaisiin hyödyntää mahdollisimman paljon (Rosati et al. 2010, s. 157)</i> | 14 |
| <i>Kuva 9: Feston suunnittelema tarrain, jonka vedellä täytetty silikonikuppi tarraa joustavasti monen erilaisen osan ympärille (Festo, 2017).</i> | 14 |
| <i>Kuva 10: Nyloc-muttereita kuvattuna punaisen valon alla. Vasemmanpuoleinen kuva on suodattamaton. Oikeanpuoleisessa kuvassa linssiin on kiinnitetty punaisen valon suodattava suodin, jolloin mutterin sininen kaulus näkyy selkeästi. (National Instruments, 2017).</i> | 16 |
| <i>Kuva 11: Tarjottimen vaihtomekanismi (mukaillen Järvenpää et al., 2009).</i> | 16 |
| <i>Kuva 12: Perinteisen tärytasoon perustuvan syöttölaitteen osat. (Boothroyd s.30, 2005).</i> | 17 |
| <i>Kuva 13: Tärytasolla kulkevaan kappaleeseen kohdistuvat voimat. (Boothroyd s.30, 2005).</i> | 19 |
| <i>Kuva 14: Tärykulman, ratakiihtyvyyden ja taajuuden vaikutus syöttönopeuteen (Boothroyd 2005, s. 35).</i> | 21 |
| <i>Kuva 15: Kitkakertoimen vaikutus syöttönopeuteen (mukaillen Boothroyd 2005, s. 38).</i> | 22 |
| <i>Kuva 16: Solenoidi (Solentec).</i> | 23 |
| <i>Kuva 17: Solenoidin voiman heikkeneminen iskun suhteessa. Eri käyttömäärät on merkattu kuvaajaan eri väreillä. (Mukaillen Solantec SD0629 datalehti)</i> | 23 |
| <i>Kuva 18: Äänikelatoimilaite (McNamara, 2012).</i> | 24 |
| <i>Kuva 19: Äänikelatoimilaitteen tuottama voima iskun funktiona (mukaillen Moticont-datalehti).</i> | 24 |
| <i>Kuva 20: Lineaariresonanssitoimilaite (Precisionmicrodrives.com, 2017).</i> | 25 |
| <i>Kuva 21: Resonanssiaktuuaattorin taajuusvaste (mukaillen Precisionmicrodrives.com, 2017).</i> | 25 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Kuva 22: Feston ilmalihaksia. (Festo.com, 2017)</i> | 26 |
| <i>Kuva 23: Pietsotoimilaite (www.physikinstrumente.co.uk).</i> | 26 |
| <i>Kuva 24: Minifeeder 20:n periaatekuva. Kuvassa Minifeeder20 (a), koneäköjärjestelmä (b), robotti (c) ja kokoonpantava tuote (d).</i> | 27 |
| <i>Kuva 25: Wisematic Minifeeder 20 toimintakaavio.</i> | 28 |
| <i>Kuva 26: Wisematic Oy:n Minifeeder 20. Kuvaan on merkitty punaisella syötettävien kappaleiden takaisinvirtaus.</i> | 29 |
| <i>Kuva 27: Wisematicin patentti uritetusta syöttötasosta, jolla syötettävät osat saadaan kääntymään uran avulla oikeaan asentoon. (Uusitalo, Viinikainen 2006, s. 3).</i> | 30 |
| <i>Kuva 28: Weber Micro Piezo Inline Feeder ZEP090 ruuvien ja pulttien syöttölaite (Weberusa.com, viitattu 22.3.2017)</i> | 31 |
| <i>Kuva 29: Asyril Asycube 80, pienten komponenttien joustava syöttölaite (Asyril.com, viitattu 23.7.2017).</i> | 32 |
| <i>Kuva 30 : Omron Adept Anyfeeder. Kilpaileva pienten osien syöttölaite. (Adept.com, viitattu 22.3.2017)</i> | 33 |
| <i>Kuva 31: Mikron Polyfeed kokoonpanosolu (Mikron.com, viitattu 30.3.2017).</i> | 34 |
| <i>Kuva 32: Pietsosähköön perustuva tärylaite. Joustavat tuet (20) myötävät, kun pietsosähköiset tärygeneraattorit (13) tärisyvät. (Shuuichi, Tetsuyuki 2004).</i> | 35 |
| <i>Kuva 33: Asyril SA:n patentoima pienten osien syöttölaite (Perroud et al., 2010).</i> | 36 |
| <i>Kuva 34: Mikronin syöttölaitepatentin kuva. Kuvassa syöttölaitteen halkileikkaus. (Gretsch & Ryser 2003)</i> | 36 |
| <i>Kuva 35: Joustavan syöttölaitteen patenttikuva (Buchi et. al. 1997)</i> | 37 |
| <i>Kuva 36: Vasemmalla kuvattu vasara (80) kääntää tasolla olevat komponentit (10) iskemällä syöttötason pintaan alhaalta päin (Buchi et. al. 1997).</i> | 37 |
| <i>Kuva 37: Joustava syöttölaite, jonka toiminta perustuu pomppulautamaiseen tärylevyyn (Buchi 2005).</i> | 38 |
| <i>Kuva 38: Kuljetinhihnoin perustuva syöttölaite. Yllä kahden hihnan ja alla kolmen hihnan syöttölaitteesta (Carlisle & Alto 1997).</i> | 39 |
| <i>Kuva 39: Tuotteen suunnittelun kohdat 5 ja 6 (mukaillen Pahl et al. 2008, s. 67).</i> | 40 |
| <i>Kuva 40: Holvautuminen ja kiilautuminen ovat mahdollisia ongelmia syöttölaitteissa. Vasemmalla syötettävät osat ovat muodostaneet holvikaaren (sinisellä). Oikealla hissien ja tärytason reunan rako (sinisellä) altistaa osat kiilautumiselle.</i> | 43 |
| <i>Kuva 41: Jaetun tärytason hahmottelu. Tasot kuljettavat osia eri suuntiin ja osat kiertävät kahden tason välillä, vaihtaen asentoa aina pudotessaan toiselle tasolle.</i> | 46 |
| <i>Kuva 42: Solidworks Motion Analysis -simulaatiossa käytetty malli kahden tärytason syöttölaitteesta.</i> | 47 |
| <i>Kuva 43: Kaksi VCA:ta pystyisivät tärisyttämään tärytasoa mihin tahansa suuntaan nuolilla merkityssä tasossa.</i> | 48 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Kuva 44: Taajuuden kasvaessa n. 30 Hertsin yli, osat alkavat liikkua tärytasolla hyppimällä eteenpäin.</i> | <i>49</i> |
| <i>Kuva 45: Tärytettävän massan kasvaessa ominaistaajuus pienenee.</i> | <i>50</i> |
| <i>Kuva 46: Kuvaaja vaimentamattoman tärytason poikkeamasta ajan funktiona.</i> | <i>51</i> |
| <i>Kuva 47: Pakotetun värähtelyn suhde ominaisvärähtelytaajuuteen eri voimakkuuksin vaimennetussa värähtelyssä. Vaimentamattomassa (zeta=0) amplitudi kasvaa äärettömästi kun $\Omega\omega$ lähestyy yhtä. (Mukaiillen Leissa 2004, s. 3)</i> | <i>52</i> |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| <i>CPD</i> | Kyberfyysinen laite (Cyber-Physical Device) |
| <i>CPRC</i> | Kyberfyysinen robottisolu (Cyber-Physical Robot Cell) |
| <i>CPS</i> | Kyberfyysinen järjestelmä (Cyber-Physical System) |
| <i>DFA</i> | Design For Assembly, työkalu kokoonpantavuuden suunnitteluun |
| <i>FMS</i> | Flexible Manufacturing System, joustava valmistusjärjestelmä |
| <i>IoT</i> | Esineiden internet (Internet of Things) |
| <i>LWR</i> | Kevytrakenteinen robotti (Light Weight Robot) |
| <i>VCA</i> | Äänikelatoimilaite (Voice Coil Actuator) |

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| t | aika |
| A_n/g_n | dimensioton normaali ratakiihtyvyys |
| k | jousivakio |
| m_p | kappaleen massa |
| v_m | keskimääräinen syöttönopeus |
| F | kitkavoima |
| ω | kulmataajuus |
| μ_s | lepokitkakerroin |
| m | massa |
| ω_{om} | ominaisvärähtelyn kulmanopeus |
| g_n | pinnan suuntainen putoamiskiihtyvyyden komponentti |
| a_n | pinnan suuntainen värähtelyn amplitudin komponentti |
| N | pinnan tukivoima |
| g | putoamiskiihtyvyys |
| x | siirtymä |
| a_0 | värähtelyn amplitudi |
| f | värähtelyn taajuus |
| ψ | välittävän voiman suunta |
| θ | värähtelyn kulma |
| F_0 | ulkoa systeemiin tuotava voima |
| Ω | ulkoisesti tuotavan voiman taajuus |

1. JOHDANTO

Työ tehtiin Wisematic Oy:lle, jonka yhtenä tuotteena on joustava pienten osien syöttölaite. Tässä työssä etsittiin ratkaisuja suuremman version suunnittelun tueksi. Alkuperäisen syöttölaitteen päätoiminnallisuuksia on poimimatta jääneiden komponenttien takaisinkierätyks. Ongelmaksi muodostui takaisinkierätykseen käytetyn mekanismin skaalautuvuus. Paineilmaan perustuva osien kierrätys toimii luotettavasti pienillä ja kevyillä komponenteilla, mutta rasittaa mekaanisesti joitakin suurempia ja raskaampia komponentteja. Työn tavoitteeksi tuli suunnitella skaalautuva ja joustava menetelmä komponenttien syöttöön kokoonpanosovelluksissa. Tuotteiden kokoonpanossa osien syöttölaitteella tarkoitetaan laitetta, joka suorittaa kahta tehtävää: osien jäsentely ja osien saattaminen kokoonpanoon. Osien jäsentely tarkoittaa kokoonpantavien osien irrotusta toisistaan. Kokoonpanoon saattaminen tarkoittaa toimenpidettä, jossa eroteltu osa saadaan sellaiseen paikkaan kokoonpanossa, että robotti voi sen poimia. (Hansson et al. 2017, s. 2052)

Tutkimuskysymyksiä tässä työssä ovat seuraavat:

- Millaisia vaihtoehtoja skaalautuvan syöttölaitteen mekaaniselle toiminnalle on?
- Mitä samoista asiakkaista kilpailevia tuotteita markkinoilla jo on?

Tutkimus on menetelmältään laadullinen. Laajaa datakirjoa eri syöttölaitteista ei ole saatavissa, mikä jo puoltaa laadullisen tutkimuksen eduksi. Suunniteltavan laitteen toimintaa ja rakennetta pyrittiin pohjustamaan pääosin kirjallisuuskatsauksen avulla. Syöttölaitteita on suunniteltu maailmalla runsaasti. Pääosa syöttölaitteista on suunniteltu yritysten toimesta teollisuuteen ja siten suuri osa tutkimuksesta ei ole helposti saatavilla sen ollessa suunnittelevien yritysten hallussa. Suunnittelutyön tavoitteena on löytää konsepti, jolla toimiva, skaalautuva ja luotettava syöttölaite voidaan suunnitella. Tutkimusmenetelmiä työssä ovat kirjallisuuskatsaus ja analyysi. Työn lopussa mekaniikkasuunnittelun osuudessa tutkimusmenetelminä ovat simulointi ja autoetnografia.

Selvitystyötä on tehty monella eri alueella. Geoffrey Boothroyd on kirjoittanut kattavasti erityisesti syöttölaitteiden tärytasojen mekaniikasta, jonka avulla teoriapohjaa suunnittelulle saatiin kartutettua. Lisäksi valmistus- ja kokoonpanotekniikan nykytilaa selvitettiin, jotta teollisuuteen soveltuva tuote saataisiin määriteltyä. Työssä tutkittiin myös vaihtoehtoisia ja mahdollisesti kustannustehokkaampia tapoja hoitaa syötettävien kappaleiden kuljettaminen vertailemalla erilaisia mekanismeja ja toimilaitteita syötettävien osien kuljettamiseksi.

Myytävää tuotetta suunnitellessa on tärkeää kunnioittaa muiden yritysten ja henkilöiden immateriaalisia omistuksia ja noudattaa alan direktiivejä ja standardeja. Siksi patenttiselvitys ja turvallisuustarkastelu ovat osa tämän työn aihepiiriä. Patenttitutkimuksen avulla saatiin myös paljon tietoa erilaisista vaihtoehtoista syöttölaitteen toimintaan. Lisäksi työssä on tehty kartoitus markkinoilla olevista kilpailevista tuotteista.

Tuotteen suunnittelun vaiheet Pahl et al. (2009, s. 67) mukaan ovat

1. Markkinatilanteen analysointi
2. Strategioiden muotoilu
3. Tuoteideoiden etsintä
4. Tuoteidean valinta
5. Tuotteen määrittely
6. Tuotteen tarkempi määrittely

Kohdassa 5 tuoteideaa tulee selvittää tarkemmin ja tuotteen vaatimukset tulee selvittää (Pahl et al. 2009, s. 67). Tämä työ voidaan katsoa kattavan listan kohdat 5 ja 6: tuoteidea on valittu aikaisemmalla selvitystyöllä, mutta moni asia vaatii tarkempaa määrittelyä ja selvitystä. Tuotevaatimuksia on määritelty ja ne ovat vaikuttaneet myös tämän työn tutkimuskysymyksiin. Yhtenä tuotevaatimuksena on syöttölaitteen skaalautuvuus ja tämän työn tehtävä on sen tarkempi selvitystyö.

Koska diplomityö on ollut selvitys syöttölaitteen suunnittelulle, työn painopiste on ollut juuri syöttölaitteen suunnittelua edistävien asioiden selvityksessä. Esimerkiksi monet robottien työkalut on käyty läpi hyvin pintapuolisesti, sillä niiden vaikutus syöttölaitteen suunnittelulle on nähty pieneksi.

2. TUTKIMUS SYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTE- LULLE

Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkittiin teoriaa syöttölaitteen suunnittelun tueksi. Sen lisäksi, että teoriaosuudessa perehdytään kokoonpanoautomaatioon yleisesti, tutkitaan tarkemmin tärytason mekaniikkaa, kilpailijoita, aihepiirin patentteja ja mahdollisia teknologioita täryn toteuttamiseksi.

2.1 Trendit kulutuksessa ja niiden vaikutus valmistus- ja kokoonpanotekniikkaan

Markkinat vaativat yhä pienempiä eräkokoja ja enemmän kustomoituja tuotteita (Michniewicz & Reinhart 2015, s. 170-171; Krüger et al. 2017, s. 707). Feldmann & Slama kirjoittivat vuonna 2001 siitä, kuinka markkinat olivat jo silloin siirtyneet yhä enemmän asiakaspainotteiseksi. Tuotteiden korkea laatu otetaan itsestäänselvyysnä. Sen lisäksi tuotteissa tulee olla uusinta teknologiaa, niiden tulee olla asiakkaalla yhä lyhyemmässä ajassa ja tuotteiden tulee olla kasvavissa määrin suunniteltu asiakaskohtaisesti. Asiakaspainotteiseen markkinaan siirtyminen on tarkoittanut valmistaville yrityksille tiukentuneita suunnittelu- ja tuotantoaikoja. Tuotantolaitteen suunnittelun näkökannalta tulevaisuuden kustomoitavat tuotteet ja pienet eräkoot puoltavat mahdollisimman monikäyttöisen laitteen suunnittelua ja lopputuotteen valmistajat vaativatkin yhä joustavampia tuotantolaitteita (Feldmann & Slama 2001, s. 1; Reinhart et al. 2011, s. 102; Krüger et al. 2017, s. 707). Tietylle tuotteelle suunnitellut, joustamattomat valmistus- ja kokoonpanolaitteet ovat isoille eräko'ille kannattavampia ja pienten eräkokojen tuotteissa investoinnit lukittuihin järjestelmiin eivät kannata (Chryssolouris 2005, s. 336). Kustannuksia syntyy, kun tuotantojärjestelmät eivät pysty mukautumaan muuttuvien tuotteiden mukana.

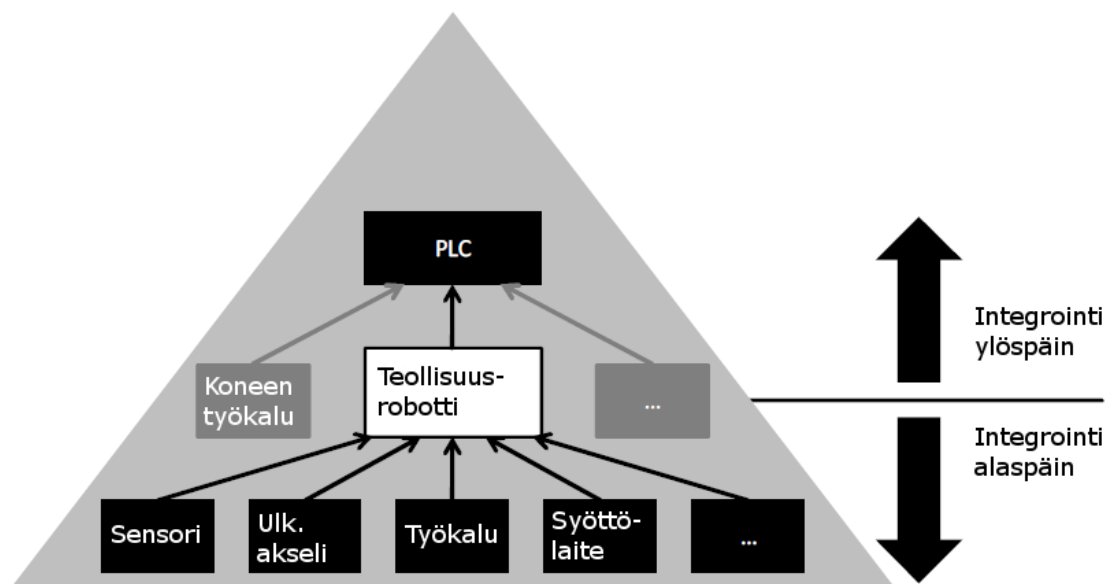
Vaikka pienet eräkoot ovat yleistymässä, niiden kokoonpano on usein haastavaa: robotit ja muut kokoonpanossa käytettävät toimilaitteet voivat olla hyvinkin joustavia, mutta niiden ohjelmointi tapahtuu usein enemmän tai vähemmän manuaalisesti. Tulevaisuudessa kyberfyysiset järjestelmät (CPS, Cyper Physical System) nähdään avuksi tähän ongelmaan. (Michniewicz & Reinhart 2015, s.170)

Kyberfyysisessä järjestelmässä tuotantosolun ohjelmointi voi tapahtua automaattisesti. Periaatteessa CPS:n toiminta on melko yksinkertainen. Tuotteen 3D-mallista puretaan tieto mahdollisista kokoonpanomahdollisuuksista ja sen toteuttamiseen vaaditun järjestelmän vaatimuksista. Vastaavasti jokaiselle CPRC:lle (cyber-physical robot cell) on olemassa omat mahdolliset liikeratansa, tarraimensa, syöttölaitteensa, ja näiden kaikkien asettamat rajoitteet. Kun vaatimuksia ja rajoitteita verrataan toisiinsa, saadaan tieto siitä,

onko tuotteen kokoonpano mahdollista toteuttaa kyseisessä robottisolussa. CPRC:n yksittäisillä osilla, joita ovat CPD:t (cyber-physical device), on yhtä lailla kaikki omat toiminnallisuutensa. Esimerkiksi kameran toiminnallisuus voi olla ”ota kuva” ja robotin ”nouda uusi osa”. (Michniewicz & Reinhart 2015, s.170-173) Järjestelmä hyödyttäisi myös mekaniikkasuunnittelijoita, sillä samalla tuotteen kokoonpantavuus olisi simuloitavissa ja suunnittelija pystyisi optimoimaan tuotetta kokoonpanon kannalta tehokkaammin ilman valmistusta. Näin prototyyppien tarve pienenee ja valmiita tuotteita pystytään myös suunnittelemaan lyhyemmässä ajassa.

Tietokoneet ovat kutistuneet ja laitteet ovat yhä enemmän yhteydessä toisiinsa. Samalla tavoin, kuin suunnittelijan tietokone voi olla suoraan yhteydessä valmistaviin järjestelmiin, koneiden välinen yhteistyö on yksi kantava ajatus myös Teollisuus 4.0:ssa – jo käynnissä olevassa teollisuuden neljännessä vallankumouksessa. Teollisuus 4.0-tehtaassa älykkäät koneet allokoivat käytettävissä olevia resursseja suoraan toistensa välillä ja pyrkivät automaattisesti optimoimaan materiaalivirtoja, korjaamaan tapahtuneita virheitä ja mukautumaan vaihtuvaan tuotantoon. (MacDougall 2014, s. 10) Tulevaisuuden tehtaassa syöttölaitteen tulee siis olla yhdistettävissä älykkäisiin, itsenäisesti toimiviin järjestelmiin ja toimimaan niiden kanssa.

Reinhart, Hüttner ja Krug (2011) ovat sitä mieltä, että yksittäisten laitteiden tulisi kertoa omat toiminnallisuutensa ylöspäin, jolloin säästyy aikaa robottisolun konfiguroinnissa tai se voidaan jopa kokonaan automatisoida (Kuva 1).



Kuva 1: Integrointisuunnat robottijärjestelmässä (mukaillen Reinhart et al. 2011).

Krüger et al. (2017) sen sijaan näkevät pyramidimallin väistävän hiljalleen hajautuneemman järjestelmän tieltä. Vielä yleinen, hierarkkinen pyramidimalli, on artikkelin mukaan muuttumassa yhä hajotetummaksi järjestelmäverkoksi, jossa yksittäiset laitteet voivat

viestiä minkä tahansa muun laitteen kanssa jakaakseen tietoa. Se mahdollistuu, kun pyramidimallin laitteiden välinen kaapelointi korvataan yhä useammin langattomalla tiedonsiirrolla. Kokoonpanolaitteiden ja IT-järjestelmien suhde lähenee. (Krüger et al. 2017, s. 707)

Jotta CPR ja siihen liittyvä laitteiden välinen kommunikointi voisi toimia, tarvitaan jokin tapa määritellä tai mallintaa kunkin laitteen toiminnallisuudet sekä tuotteen prosessoinnin vaatimukset, oli kyseessä sitten valmistus tai kokoonpano. Hansson et al. esittää artikkelissaan (2017) eri tapoja mallintaa syöttölaitteita, jotta niiden automaattinen konfigurointi eri tuotteille olisi mahdollisimman tehokasta. Artikkelissa kuvataan mallia, jossa tuotantolaitteen osalla voi olla ”yksinkertainen kyky”. Tärysyöttölaitteen pohjan tapauksessa se voi olla esimerkiksi ”tärisyttäminen”. Kuljettimen osalla se on ”osan siirtäminen”. Kun laitteen eri yksinkertaiset kyvyt yhdistetään, saadaan ”yhdistettyjä kykyjä”. Koneäköjärjestelmällä varustetulla syöttölaitteella yhdistettyjä kykyjä ovat esimerkiksi osien kääntö, osien erottelu ja osan tunnistus. (Hansson et al. 2017, s. 2056-2058)

2.2 Automaatiojärjestelmä ja sen osa-alueet

Tässä luvussa esitellään yleismaailmallisesti automaatiota ja sen sovelluksia. Luvun pääpaino on kokoonpanoautomaatiossa ja sen osa-alueissa.

2.2.1 Automaatio teollisuuden ulkopuolella

Automaatioaste on kasvanut niin tuotantotekniikan alueella kuin sen ulkopuolellakin. Asuintaloissa yksinkertaisia automaatiolaitteita ovat esimerkiksi automaattisesti hämällä syttyvät pihavalot ja älykkäät ilmastointijärjestelmät. Kehittyneemmissä järjestelmissä esimerkiksi talon koko valaistusta voidaan ohjata yhden pisteen kautta: talon valaistus on kytketty väylään, jolloin signaali usealle valolle saadaan vietyä yhtä kaapelia pitkin. (Merz et al. 2009, s. 1-2) Kirjan *Building Automation* kirjoittamisen jälkeen suuren loikan edennyt IoT - esineiden internet - näkyy selkeästi myös kodeissa. Langattomasti kommunikoivia laitteita on yhä enemmän ja Merzin kuvaaman väylän merkitys on pienentynyt, kun yhä useammat laitteet kommunikoivat toistensa kanssa langattomasti (Lakhlef et al. 2016, s. 998-999).

2.2.2 Automaatio tuotteiden valmistuksessa

Williamsin (2009) mukaan automaatio on ihmiselle keino viedä laitteita ja koneita pidemmälle. Automaation avulla säästetään kustannuksissa, kun ihminen korvataan koneella. Samalla myös mahdolliset loukkaantumiset ja vammautumisesta saadaan minimoitua.

Kappalevalmistuksessa manuaalisen työn osuus on vähentynyt jo 1900-luvun alusta asti. 1900-luvulla sorvit ja työstökoneet alkoivat syrjäyttää vanhemmat, pitkälti lihasvoimaa

käyttävät valmistusmenetelmät ja 1920- ja 1940-lukujen välissä erityisesti autoteollisuuden kehittynyt massavalmistus löi läpi tehokkuudellaan. Massatuotannossa käytettävät työstökoneet olivat pitkälti suunniteltu vain yhdentyyppiselle tuotteelle. (Youssef & El-Hofy 2008, s. 603)

Vielä tuolloin itse termiä automaatio ei teollisuudessa tunnettu. 1945 sitä käytettiin ensimmäisen kerran Yhdysvalloissa kuvaamaan itsenäisesti toimivaa osien käsittelyä ja prosessointia. Noista ajoista Youssef & El-Hofy katsovat toisen teollisuuden vallankumouksen alkaneen. Nykyisin markkinat vaativat erilaisempia tuotteita ja eräkoot ovat pienentyneet. Lisäksi haasteita valmistukselle aiheuttavat haastavammat kovemmat tarkkuusvaatimukset. (Youssef & El-Hofy, 2008, s. 603).

Entisaikojen tuotekohtaisten valmistusjärjestelmien rinnalle on tullut joustavia valmistusjärjestelmiä (FMS), jotka sallivat pienempien eräkokojen valmistuksen kannattavasti. Joustavat järjestelmät voivat olla joko miehitettyjä tai miehittämättömiä. (Youssef & El-Hofy, 2008, s. 603) Eri tavoin asiakasräätelöityjen tuotteiden suosion kasvu puoltaa yhä enemmän joustavaa tuotantoa, jossa toimilaitteet eivät ole lukittu vain yhden tuotteen valmistukseen.

2.2.3 Automaatio tuotteiden kokoonpanossa

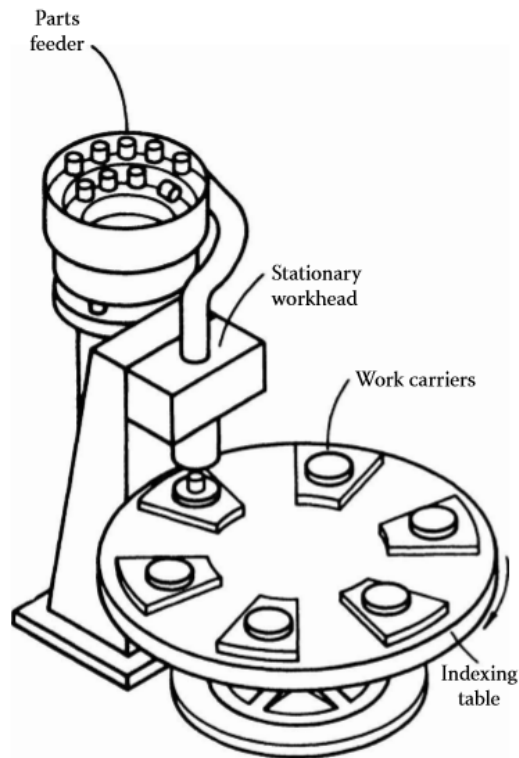
Merriam Webster -sanakirja määrittelee kokoonpanoksi prosessin, jossa osia liitetään toisiinsa. Daniel Whitney (2004) mukaan se on kuitenkin laajempi käsite: kokoonpanoprosessi on valmistuksen viimeinen vaihe ja tuotteen valmistuksen loppusalaus. Kokoonpanossa kaikki suunnitteluvaiheet, insinöörityö, valmistus ja logistiikka nivoutuvat yhteen tuotteeksi, joka täyttää jonkin tarpeen.

Kokoonpanoprosessien kehitys on linkittynyt tiukasti tuotantotekniikan kehitykseen. Vaikka valmistustekniikka on ottanut valtavia harppauksia automaation myötä, kokoonpanotekniikan kehitys ei ole pystynyt samaan. Vielä 1960-luvulla Yhdysvalloissa valmistettujen tuotteiden kustannuksista usein yli 50 % syntyi tuotteiden kokoonpanosta. (Boothroyd 2005, s. 1)

Samalla tavoin kuin tuotteen valmistuksessa, myös niiden kokoonpanossa ja kokoonpanon suunnittelussa on omat hankaluutensa. Kenties suurin muuttuja kokoonpanoa ajatellen on vaihtelu tuotteen menekissä. Kun uusi tuote julkaistaan, sen kokoonpanossa saatetaan pärjätä manuaalisella kokoonpanolla. Onnistuneen julkaisun jälkeen kysyntä saattaa kuitenkin räjähtää ja kokoonpanon automatisointi tulee ajankohtaiseksi, jotta tuotteen kysyntään voidaan vastata. (Speck 2015, ss. 180-185)

Tuotteen kokoonpanossa tuote voidaan kokoonpanna monella erillisellä kokoonpanoyksiköllä (workhead). Kukin kokoonpanoyksikkö kokoonpanee osan tuotteesta ja tuotteen kulkiessa koko linjaston läpi, se on toisessa päässä linjaa täysin kasattu. (Boothroyd 2005,

s. 17-28) Linjasto voi olla joko pyörivä pöytä, kuten kuvassa 2 alla tai liukuhihna, jolloin mahdollisesti manuaalisesti tehtäviä vaiheita saadaan tehtyä automaattisten vaiheiden välissä. (Wilson s. 65, 2015) Tuote liikkuu näiden kokoonpanoyksiköiden välillä joko jatkuvalla liikkeellä tai indeksoidulla liikkeellä. Jatkuvalla liikkeellä tarkoitetaan sitä, että tuotetta kokoonpaneavat yksiköt liikkuvat tuotteen mukana. Tämä on Boothroydin mukaan kuitenkin harvinaisempi tilanne, sillä sekä työkappaleen että kokoonpanoyksikön liikkeessä on usein hankaluuksia päästä kokoonpanossa vaadittaviin tarkkuuksiin. Usein myös kokoonpanoyksiköt itsessään ovat niin suuria ja painavia, ettei niiden liikuttelu ole järkevää. (Boothroyd 2005, s. 17-28) Kokoonpanon aikana kokoonpantava tuote on usein kiinnitetty jigiin (work carrier). Jigi pyritään valmistamaan niin, että se on helppo käsitellä ja paikoittaa eri työpisteissä.



Kuva 2: Kappaleen kokoonpanolinja, jossa on kuvattu yksi kokoonpanoyksikkö (Boothroyd 2005, s. 19).

Yllä kuvattu kokoonpanolinja on yksi tapa hoitaa tuotteen kokoonpano. Vaihtoehtoinen tapa kokoonpanoon on koota tuote robotin avulla. Robotin käyttö kokoonpanotyössä on myös tulevaisuutta ajatellen usein järkevämpi vaihtoehto, sillä se voidaan ohjelmoida uudistuneen tuotteen kokoonpanoon helpommin, kuin täysin yhden tuotteen kokoonpanoon räätälöity järjestelmä. (Wilson s.65, 2015)

2.3 Kokoonpantava tuote

Tuotteen valmistuksen tuottavuuteen voidaan vaikuttaa monin keinoin. Suurimmat säästöt voidaan usein saada tuotteen kokoonpanon suunnittelusta ja järkevöittämisestä. Joissakin yrityksissä tuotteen suunnittelu ja tuotteen valmistuksen suunnittelu ovat hyvinkin erillään toisistaan. Sellaisissa tapauksissa, joissa tuote ei ole suunniteltu valmistusta ja kokoonpanoa silmällä pitäen, ainoa keino valmistuksen suunnittelulla on minimoida tuotteen huonosta suunnittelusta aiheutuvat haitat. (Boothroyd 2005, ss. 219-220) Tämän lisäksi tuotteelle tehtävät huollot saattavat olla tuotteen suunnittelijalla mielessä vain abstraktilla tasolla, jolloin huollon toteutuksesta vastaavan henkilöstön olisi järkevää ottaa osaa tuotteen suunnitteluun. Näin tuotteesta saadaan suunniteltua sellainen, että se voidaan helpommin purkaa vaadittavia huoltotöitä varten. (Speck 2015, s 167). Tilannetta helpottamaan on kehitetty menetelmiä ja järjestelmiä, joilla tuotteen suunnittelija saa palautetta osan tai tuotteen valmistettavuudesta ja kokoonpantavuudesta. Menetelmistä kenties kuuluisin on DFA (design for assembly), joka helpottaa tuotteen suunnittelua helpon kokoonpanon varmistamiseksi. Samalla DFA-ohjelmistoja käyttämällä tuotteen suunnitteluun vaikuttaneet tekijät tulevat dokumentoiduksi arkistointia varten. (Boothroyd 2005, ss. 219-220)

Tuotteen kokoonpantavuuden arvioinnissa on syytä huomioida, onko tuote suunniteltu kokoonpantavaksi manuaalisesti, erityisesti tuotetta varten valmistetuilla kokoonpanolaitteilla vai yleisillä kokoonpanolaitteilla, kuten roboteilla. Käsien kokoonpantavaa tuotetta suunnitellessa ei ole yhtä kriittistä, kuinka osia käsitellään ja mitkä osien asennussuunnat ovat, sillä manuaalinen kokoonpano on hyvin joustavaa. (Boothroyd 2005, s. 221) Tuotteen kokoonpanon kustannuksia tarkastellessa lähtökohtana pidetään usein juuri manuaalista kokoonpanoa, sillä tuotteen kokoonpanon automatisointi ei ole aina tiedossa ensimmäisiä versioita suunnitellessa (Speck 2015, s. 167, Boothroyd 2005, s. 219).

2.4 Toimilaitteet automaattisessa kokoonpanossa

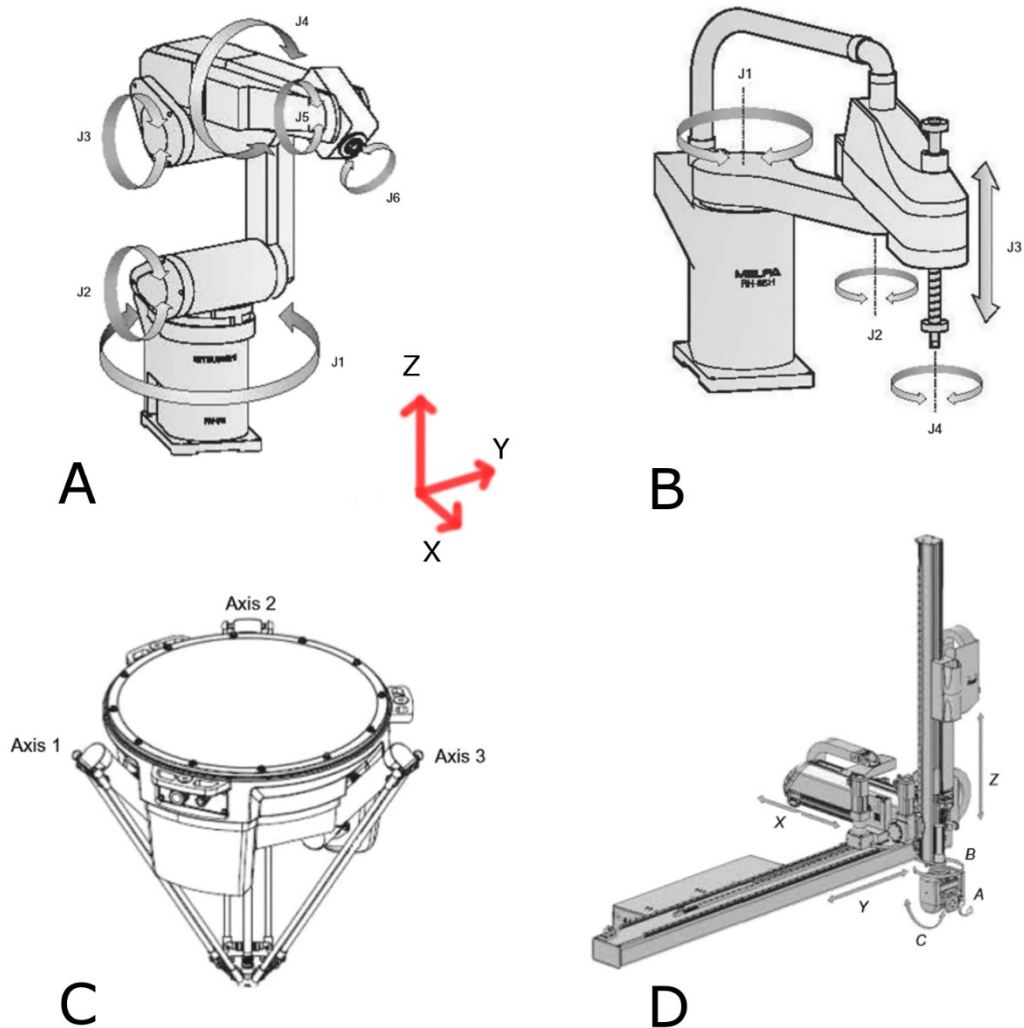
Vaikka kokoonpantava tuote onkin se, minkä ympärille koko kokoonpano suunnitellaan, tarvitaan automaattisen kokoonpanon mahdollistamiseksi myös toimilaitteita. Kenties näkyvin osa kokoonpanotoimilaitteista on robotti.

2.4.1 Robotit

Ensimmäiset teollisuusrobotit kaupallistettiin 1950- ja 1960-lukujen taitteessa. (Kurfess, 2005, s. 7) Teollisuusrobotit voidaan valjastaa moneen eri työhön, sillä ne ovat erittäin joustavia ja robottivalmistajien välisen kilpailun myötä niiden hinnat ovat kohtuullisia. The Robotics Industry Associationin määritelmän mukaan robotti on ”uudelleenohjelmoitava, monitoiminen manipulaattori, joka on suunniteltu siirtämään materiaalia, osia,

työkaluja tai muita laitteita käyttäen muuttujilla ohjelmoituja liikkeitä suoriutumaan eri tehtävistä.” (Nagurka, Kurfess 2005, k. 176 s. 1)

Teollisuusrobotit voivat olla rakenteeltaan erilaisia ja toimia erilaisella kinematiikalla, ja ne jaotellaan usein rakenteensa mukaan eri ryhmiin. Robottien päätyypit ovat käsivarsi-robotti, SCARA, karteellinen robotti ja delta. (Kuva 3)



Kuva 3: Robottikinematiikkojen päätyypit. Käsivarsi-robotti (A), SCARA (B), delta (C) ja karteellinen robotti (D). Mukailten Wilson (2015).

Robottityypeistä useimmiten käytetty on käsivarsi-robotti. Asennetuista roboteista käsivarsi-robotteja on noin 60% ja luku vielä korkeampi Euroopassa ja Amerikoissa. Käsivarsi-robottia käytetään paljon esimerkiksi hitsauksessa, maalauksessa ja monessa muussa materiaalinkäsittelyssä. Sen joustavuus ja laaja kokohaarukka puoltavat sen suosiota. Käsivarsi-robotteja on hyötykuormille välille noin 3-1000kg, ja lisäjoustavuutta tarjoamaan on kehitetty useamman kuin kuuden akselin robotteja. (Wilson s. 24, 2015)

SCARA-mallin robotti on alun perin suunniteltu tuotteiden kokoonpanoon ja sen nimi tulee sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. SCARAt ovat rakenteensa ansiosta hyvin jäykkiä pystysuunnassa. Ne ovat myös tavallisesti käsivarsirobotteja nopeampia ja tarkempia, mutta niillä on vähemmän vapausasteita kuin kuusiakselisilla käsivarsiroboteilla. SCARAt ovat yhä käytössä pääasiassa kokoonpanoteollisuudessa, mutta niitä käytetään myös esimerkiksi pursottamaan liimoja ja tiivisteitä tarkasti ja vakionopeudella. (Wilson s. 24-25, 2015)

Delta-mallin robotit ovat neljästä yleisimmästä robottityypistä uusimpia. Ne ovat SCARAn tapoin hyvin nopeita ja niitä käytetään erityisesti poimimaan erilaisia tuotteita ruokateollisuudessa. Niiden kantokyky on melko rajallinen: tyypillisesti alle 8kg. (Wilson s. 27-28, 2015) Delta-mallin robotteja on saatavilla hyvinkin pieninä ja niitä ollaan hyödynnetty muun muassa Tampereen Teknillisen Yliopiston mikrotehtaissa. (Järvenpää et al. s. 172, 2009)

Karteesisen robotin liikkeet perustuvat yhteen suuntaan liikkuviin akseleihin ja yksittäisen akselin liike on aina yhdensuuntainen karteesisen koordinaatiston akselin kanssa. Akseleita on usein kolme, mutta robotteihin voidaan liittää myös kiertoliike viimeisen akselin jälkeen. Karteesisia robotteja käytetään erityisesti monenlaisiin tuotteiden nosto- ja laskutehtäviin, sillä robotteja on paljon erikokoisia pienistä pöytämalleista aina kymmenien metrien akseleiden robotteihin. Kantokyky voi suurimmilla roboteilla olla yli 3000 kg. (Wilson s. 26-27, 2015)

Eri robottityypit suoriutuvat joistakin tehtävistä paremmin kuin toiset (Wilson s. 31, 2015). SCARA on yleisimmin käytössä oleva robotti kokoonpanotehtävissä sen nopeuden ja toistotarkkuuden ansiosta, (Wilson s. 28, 2015) Syöttölaitteen suunnittelussa tulee siis huomioida erityisesti sen mekaniikka. Syöttölaitteen syöttämät osat tulee pystyä poimimaan ainakin ylhäältä käsin, sillä SCARA-robotin työkalu poimii usein juuri alhaalta ylös. Lisäksi ei voida olettaa, että käsiteltävää osaa voitaisiin pyörittää kaikkien akselien ympäri, sillä SCARA voi kääntää osan ainoastaan pystyakselin ympäri (Kuva 3).

Joustavuus siirtyy kustomoitavien tuotteiden myötä myös tehtaiden työkaluihin ja koneisiin. Ihminen on yhä joustavin elementti kokoonpanolinjoilla, mutta joustavuuden kasvu näkyy myös moderneimmissa, joustavammissa robottityypeissä. Kokoonpanoon onkin kehitetty robotteja, jotka ovat yhä enemmän ihmisen kaltaisia. Kahden käsivarren robotti pystyy monimutkaisempiin kappaleenkäsittelyoperaatioihin, kuten pujottamaan kaapelia toisen osan välistä, ottaen samalla kaapelin vastaan osan toisella puolen. Joustavuutta on haettu myös ihmisen ja robotin yhteistyöstä. Usealla robottivalmistajalla on tarjota kevytrakenteisempia robotteja (LWR, light weight robot), jotka voivat työskennellä samassa tilassa ja tehtävässä ihmisen kanssa vaarantamatta ihmistyöntekijää. Kevytrakenteisiä robotteja valitaan eri tehtäviin ihmisen kanssa esimerkiksi parantamaan ergonomiaa, parantamaan laatua tai tehostamaan työpistettä. (Krüger et al. 2017, s. 721) Kaksikäsiartinen robotti nähdään kuvassa 4 vasemmalla ja kevytrakenteinen robotti oikealla.



Kuva 4: Vasemmalla ABB Yumi kaksikäsiäinen robotti ja oikealla KUKA iiwa kevytrakenteinen robotti, joka voi työskennellä ihmisen kanssa. (Krüger et al. 2017, s. 721; KUKA)

2.4.2 Robottien työkalut ja tarraimet

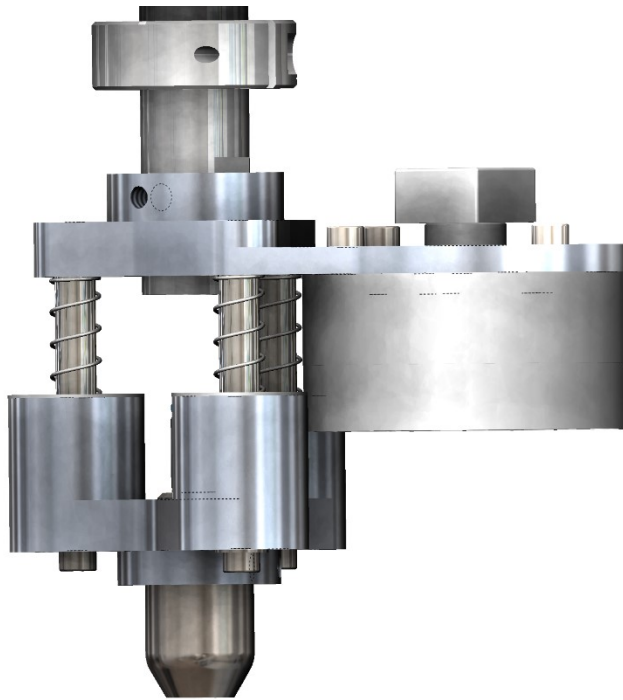
Robotteja voidaan käyttää todella moniin erilaisiin sovelluksiin teollisuudessa. Erilaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi hitsaus, maalaus, metallien valuprosessit ja yleinen materiaalikäsittely. (Wilson, s. 24-26) Koska tässä työssä pääpaino on kokoonpanotekniikassa, käsitellään siihen liittyviä robottien työkaluja tarkemmin.

Ihmisen kädet ovat hyvin taitavia monien tuotteiden kokoonpanossa. Vaikka kädentapaisia tarraimia onkin kehitelty, ne ovat usein kalliita ja monimutkaisia ja moni kokoonpanotehtävä voidaan suorittaa huomattavasti yksinkertaisemmilla laitteilla. Robotin tarraimia voidaan luokitella niiden toimintaperiaatteen mukaan. Usein teollisuudessa näkee kaksileukaisia/kaksisormisia tarraimia, joita esimerkiksi Schunk valmistaa (Kuva 5).



Kuva 5: Schunkin 2-leikainen tarrain. (Wilson s. 59, 2015)

Kaksisorminen tarrain tarttuu kappaleeseen siirtämällä sormia lähemmäs toisiaan kappaleen ollessa niiden välissä. Vastaavalla toimintaperiaatteella on olemassa myös useampi-sormisia tarraimia. (Schunk) Kappaleeseen voidaan tarttua myös esimerkiksi magneetin avulla tai alipaineella. Alipainetarraimet ovat varsin nopeita ja useimmiten eivät vahingoita poimittavaa kappaletta. (Wilson s. 59-60, 2015) Alipainetarrain voi olla pelkkä teräsputki kuten kuvassa 6 tai muistuttaa enemmän perinteistä imukuppia, jollaisia esimerkiksi Festo (Kuva 7) tarjoaa.

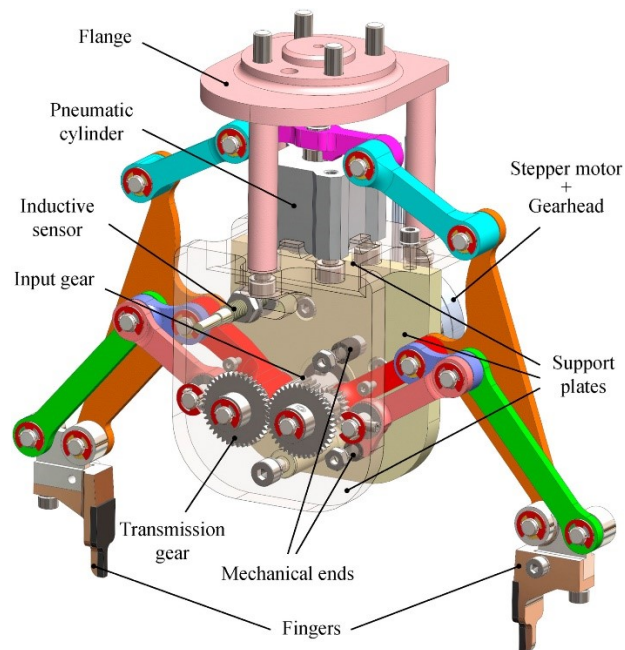


Kuva 6: Imukuppitarrain SCARA-robottiin. Tarraimeen yhdistetty myös rengasvalo ja kamera.



Kuva 7: Feston imukuppitarrain. (Festo, 2017)

Vaadittu joustavuus kokoonpanossa aiheuttaa omat ongelmansa myös robottien tarraimien ja työkalujen saralla. Erilaisia komponentteja varten tarvitaan usein omat tarraimensa ja työkalunsa, mikä yhdelläkin robotilla toteutettuna tarkoittaa kalliiden työkalunvaihtojärjestelmien käyttöä. Kokoonpanossa hyödytään siitä, jos samalla työkalulla voidaan kokoonpanna mahdollisimman laaja kirjo erilaisia komponentteja. (Rosati et al. 2017, s. 157) Joustavuuden lisäämiseksi onkin suunniteltu erilaisia, mahdollisimman joustavia tarraimia, joita nähdään kuvissa 8 ja 9.



Kuva 8: Robotin tarrain, jonka tartuntaväliä voidaan säätää työvaiheiden aikana, jotta samaa työkalua voitaisiin hyödyntää mahdollisimman paljon (Rosati et al. 2010, s. 157)



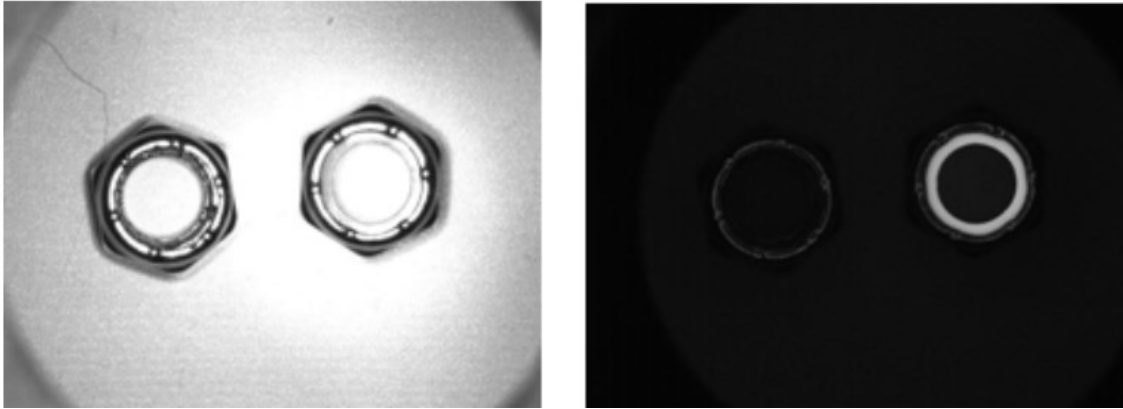
Kuva 9: Feston suunnittelema tarrain, jonka vedellä täytetty silikonikuppi tarraa joustavasti monen erilaisen osan ympärille (Festo, 2017).

2.4.3 Konenäköjärjestelmät

Konenäköä käytetään kokoonpanoautomaatiossa muun muassa tuotteiden tunnistamiseen ja laadunvalvontaan. Usein joustavien syöttölaitteiden tapauksessa konenäöllä tunnistetaan ja paikoitetaan syötettävät komponentit. Saadun paikka- ja asentotiedon avulla kokoonpanoa suorittavaa robottia voidaan ohjata hakemaan osa syöttölaitteelta. Myös Wisematicin Minifeeder 20:n syöttämät komponentit paikoitetaan konenäöllä, kuten myöhemmin kuvassa 24 nähdään. Konenäkö on aiheena todella laaja, mutta sen perusperiaatteet on tärkeä selvittää, jotta syötettävien komponenttien etsintä syöttölaitteen tärytasolta onnistuu mahdollisimman tehokkaasti. Konenäköjärjestelmä kattaa usein valaistuksen, optiikan, kameran, kuvan ja saadun datan käsittelyn. (Batchelor s. 25, 2012) Yksinkertaisuuden vuoksi tutkitaan vain 2D-kameroita, sillä Wisematic on suosinut niiden käyttöä syöttölaitteiden yhteydessä.

Syötettävien komponenttien löytämiseksi ja niiden asennon tunnistamiseksi kohteet taustavalaistaan. Taustavalaistuksen avulla komponenteista saadaan suurikontrastisia kuvia, joita on helppo prosessoida. (Batchelor s. 1365, 2012) Taustavalaistusta kuvasta voidaan selvittää kuvatus osan siluetin perusteella muun muassa osan koko, malli ja asento. Taustavalaistusta käytetään lisäksi esimerkiksi reikien ja rakojen tarkistukseen. (National Instruments, 2017) Taustavalaistukseen on tarjolla runsaasti valmiita komponentteja, mutta niiden sovittaminen kaupalliseen skaalattavaan syöttölaitteeseen voi olla haastavaa syöttölaitteen tiukan tilankäytön vuoksi.

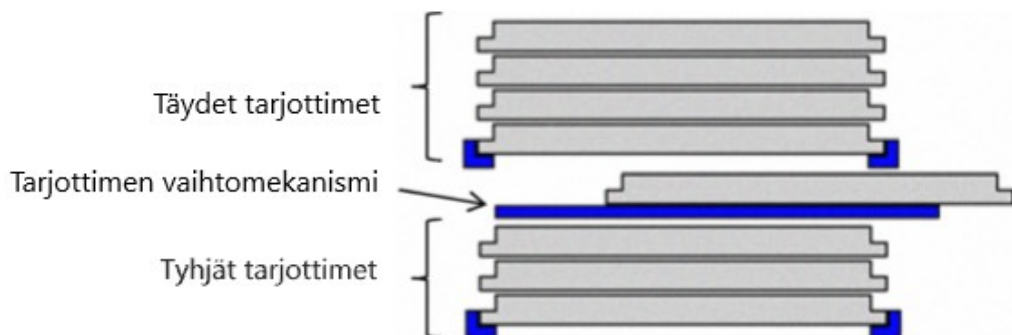
Optiikka yhdessä kameran kanssa vastaa itse kuvan muodostamisesta. Kameraan kiinnitettävä optiikka taittaa valon kameran kennolle. Kamera ja siihen liitettävä optiikka valitaan usein pienimmän tunnistettavan piirteen mukaan (Wilson, 2000). Syöttölaitesovelluksessa tunnistettavan piirteen koko voidaan valita osan tunnistusta ja järjestelmän paikoitustarkkuutta ajatellen. Optiikalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi kameran kuva-alaan, tarkennusetaisyyteen ja syväterävyyteen. Lisäksi esimerkiksi musta-valkokamerasta saadaan korostettua kuvattavan kohteen eri värejä suodattamalla tietty aallonpituusalue pois. (National Instruments, 2017) Esimerkki aallonpituusalueen suodatuksesta nähdään kuvassa 10.



Kuva 10: Nyloc-muttereita kuvattuna punaisen valon alla. Vasemmanpuoleinen kuva on suodattamaton. Oikeanpuoleisessa kuvassa linssiin on kiinnitetty punaisen valon suodattava suodin, jolloin mutterin sininen kaulus näkyy selkeästi. (National Instruments, 2017)

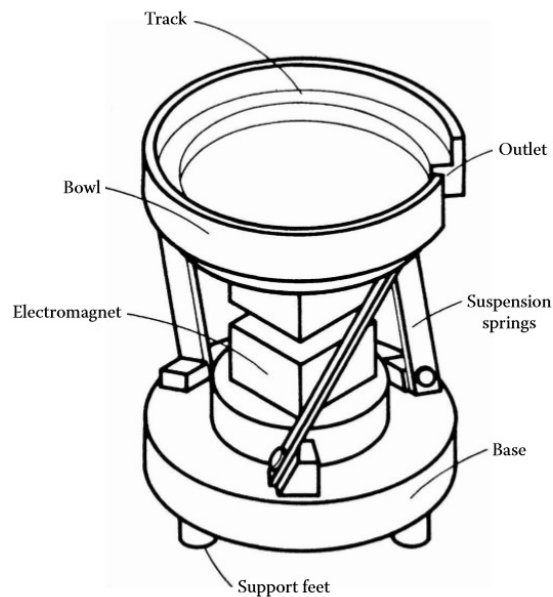
2.4.4 Syöttölaitteet

Automaattisessa kokoonpanojärjestelmässä komponentteja tarvitsee siirtää usein suuria määriä kokoonpantavaksi. Kokoonpantava osa voi olla joko osa kokoonpantavaa tuotetta tai sen kiinnittämiseen käytettävä niitti tai ruuvi. Sen lisäksi, että osia pitää saada syötettyä riittävä määrä, niiden orientaatio eli asento täytyy usein olla ennalta määrätty. Komponenttien syöttöön onkin kehitetty erilaisia syöttölaitteita, jotka toteuttavat nämä ehdot. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset vyö- ja makasiinisyöttölaitteet. Myös paineilmalla voidaan syöttää esimerkiksi ruuveja suoraan robotin työkalulle monimutkaisiakin reittejä putkia pitkin. (Wilson s. 43-45, 2015) Osia voidaan tuoda kokoonpantavaksi myös erilaisilla tarjottimilla, mutta ne vievät usein runsaasti tilaa sekä varastosta että kokoonpanosolusta. Jokaisella tarjottimella on osia, jotka robotti kokoonpanee. Kun robotti on poiminnut tarjottimelta kaikki osat, tyhjä tarjotin tulee vaihtaa täyteen tarjottimeen erillisellä mekanismilla (Kuva 11). Tarjotinsyöttölaitteen huonoihin puoliin kuuluu myös sen, että tarjottimen täyttäminen on tuottamatonta työtä. (Järvenpää et al. s. 172, 2009)



Kuva 11: Tarjottimen vaihtomekanismi (mukaillen Järvenpää et al., 2009).

Monet komponentit toimitetaan bulkkina erilaisissa pakkauksissa, eikä niiden orientaatio ole määrätty. Tällaisten osien syöttöön käytetään usein tärymaljoja (Kuva 12), jotka syöttäessään osia samalla kääntävät ne oikeaan asentoon erilaisten mekaanisten ohjurien ja urien avulla. Tärymaljat eivät kuitenkaan sovi sellaisten osien syöttöön, jotka voivat tarttua toisiinsa tai vaurioituvat kontaktissa muiden osien kanssa. (Wilson s. 43, 2015; Boothroyd s. 29, 2005; Loy & Reinhart s. 357, 2010) Lisäksi toimivien ohjurien suunnittelu ja koneistus on aikaa vievää ja kallista.



Kuva 12: Perinteisen tärytasoon perustuvan syöttölaitteen osat. (Boothroyd s.30, 2005)

Tärymaljan kanssa yhteisen toimintaperiaatteen jakavat lineaariseen tärytasoon perustuvat syöttölaitteet. Wilsonin (2015) mukaan lineaarisilla tärytasolla saadaan syötettyä herkempiä komponentteja, mutta niillä ei voida muuttaa kappaleiden orientaatiota kuten tärymaljoilla. Wilsonin väite ei pidä täysin paikkansa, kuten luvussa 3 myöhemmin nähdään.

Loy ja Reinhart (2010) kertovat artikkelissaan siitä, kuinka tuotteiden lyhentyneet elinkaaret ja kasvanut variointi aiheuttavat haasteita automaattisessa kokoonpanossa. Valmistuslinjojen vaadittu joustavuus lisää kustannuksia, mikä on ristiriidassa yleisen hintapaineen kanssa. Onkin tärkeä valita sopiva joustavuusaste kuhunkin tehtävään. Kirjoittajat ehdottavat itse modulaarisen tärymaljan käyttöä. (Loy & Reinhart s. 357, 2010) Myös Järvenpää et al. kuvailemasta tarjotinsyöttölaitteesta voidaan suunnitella joustava, jollain samalla tarjottimella voidaan tuoda useita erilaisia osia kokoonpanoon. (Järvenpää et al. s. 172, 2009) Kuitenkaan se ei poista tarjotinsyöttölaitteen huonoja puolia: tilankäyttöä ja etukäteen vaadittua tarjotinten täyttämistä.

2.5 Konedirektiivi ja turvallisuustarkastelu

Koneen valmistajan tehtävänä on Työsuojeluhallinnon (2008) mukaan

- ”Arvioida koneeseen liittyvät riskit.
- Selvittää konetta koskevat turvallisuusmääräykset.
- Suunnitella ja rakentaa kone olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti.
- Laatia käyttöohjeet ja tehdä koneeseen tarvittavat merkinnät.
- Laatia tekninen tiedosto.
- Tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutus.
- Kiinnittää koneeseen CE-merkintä.”

Koneiden turvallisuuskysymyksiä käsitellään koneturvallisuuden standardeissa. Usein kysymykset liittyvät suunnitteluvaiheessa huomioitaviin seikkoihin ja siksi syöttölaitteenkin suunnittelussa tulee perehtyä asianmukaisiin standardeihin ja niiden soveltamisohjeisiin. (SFS s. 2)

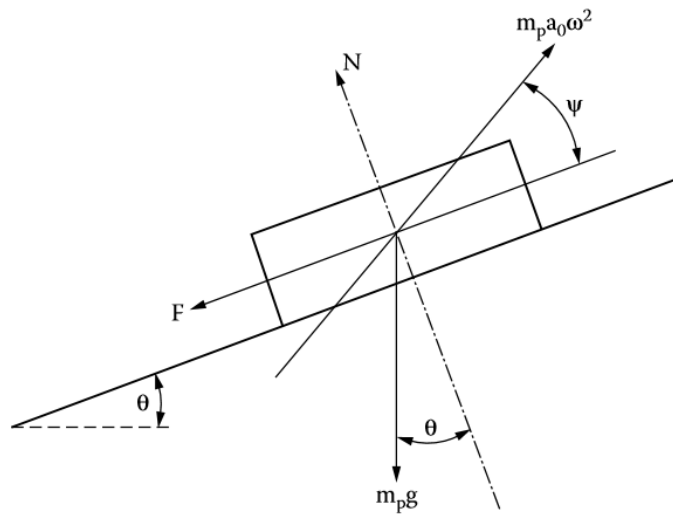
Konedirektiivi on pohjana koneturvallisuuden standardeille. Konedirektiivin liitteen I mukaan, koneen valmistajan tulee tehdä myytävälle koneelle, koneyhdistelmälle, turvakomponentille tai nostoapuvälineelle turvallisuussuunnittelu. Turvallisuussuunnittelussa kerätään kaikki tuotteen elinkaaren ajan mahdolliset riskit, joiden perusteella kone suunnitellaan ja valmistetaan niin, että riskit joko minimoidaan tai poistetaan. (SFS s. 2) Ensisijaisesti koneen turvallisuutta tulee parantaa suunnittelemalla itse kone turvallisesti, toissijaisesti sen turvallisuutta tulee parantaa teknisillä suojaustoimenpiteillä ja kolmannella sijalla on käyttäjän tai muun henkilön tiedottaminen mahdollisista riskitekijöistä, joita ei ole kahdessa ensimmäisessä vaiheessa saatu poistettua. (Euroopan komissio - yritys- ja teollisuustoiminta 2010, s. 153; SFS s. 2)

Itse Konedirektiivi sisältää lähinnä yleiset ja olennaisimmat vaatimukset koneen turvallisuudelle. Konedirektiivin lisäksi on luotu standardeja, jotka neuvovat konkreettisemmalla tasolla, kuinka vaatimuksia tulee oikeaoppisesti noudattaa. Koneturvallisuuden kehittäminen konedirektiivin kanssa yhdenmukaistetulla koneturvallisuuden standardilla on järkevää, sillä koneen täyttäessä standardien vaatimukset, sen katsotaan suoraan täyttävän myös konedirektiivin vaatimukset. (SFS s. 2)

Erityisesti koneturvallisuuden yleisten suunnitteluperiaatteiden standardia SFS-EN ISO 12100 ja käytännön riskienarviointiin liittyvää standardia SFS-ISO/TR 14121-2 käytettiin syöttölaitetta suunniteltaessa.

2.6 Täritytason liikemekanikka

Boothroydin (2005) teoksessa käydään kattavasti läpi, mitkä kaikki tekijät vaikuttavat kappaleen liikkeeseen täritytasolla. Boothroydin kaavat kuvaavat kappaleen liikettä kaltevalla täritytasolla. Boothroydin laskuissa käytetty voimakuvio nähdään kuvassa 13. Siinä muuttujia ovat liikuttavan tason kulma θ , täritystävän voiman suunta ψ , kulmataajuus ω ja tärityn amplitudi a_0 . Kulmataajuus saadaan vastaavasti tärityn taajuudesta f , kaavalla $\omega=2\pi f$. Laskuissa on oletettu, että kappaleen massa ei ole riippuvainen sen mallista. Lisäksi ilmanvastus on jätetty huomiotta.



Kuva 13: Täritytasolla kulkevaan kappaleeseen kohdistuvat voimat. (Boothroyd s.30, 2005)

Kappaleen ylöspäin liukumiseksi kaltevalla tasolla pätee kaava

$$m_p a_0 \omega^2 \cos \psi > m_p g \sin \theta + F, \quad (1)$$

jossa kitkavoima on

$$F = \mu_s N = \mu_s [m_p g \cos \theta - m_p a_0 \omega^2 \sin \psi]. \quad (2)$$

Kaavoissa 1 ja 2 F on kitkavoima, μ_s on lepokitkakerroin, g on putoamiskiihtyvyys ($9,81 \text{ m/s}^2$) ja N pinnan tukivoima. Kun kaavat 1 ja 2 yhdistetään, saadaan ehto kappaleen liukumiseksi ylöspäin:

$$\frac{a_0 \omega^2}{g} > \frac{\mu_s \cos \theta + \sin \theta}{\cos \psi + \mu_s \sin \psi} \quad (3)$$

ja alaspäin

$$\frac{a_0\omega^2}{g} > \frac{\mu_s \cos \theta - \sin \theta}{\cos \Psi - \mu_s \sin \Psi}, \quad (4)$$

joissa $\frac{a_0\omega^2}{g}$ voidaan korvata dimensiottomalla normaalilla ratakiikhtyvyydellä A_n/g_n , jossa

$$A_n = a_n\omega^2 = a_0\omega^2 \sin \Psi \quad (5)$$

ja

$$g_n = g \cos \theta. \quad (6)$$

Kaavat 3 ja 6 yhdistetään ja saadaan ehto ylöspäin liukumiselle

$$\frac{A_n}{g_n} > \frac{\mu_s + \tan \theta}{\cot \Psi + \mu_s} \quad (7)$$

ja vastaavasti alaspäin liukumiselle kaavat 4 ja 6 yhdistämällä

$$\frac{A_n}{g_n} < \frac{\mu_s + \tan \theta}{\cot \Psi + \mu_s}. \quad (8)$$

Rajoittava tekijä eteenpäin liukumiselle saadaan vertaamalla kaavoja 7 ja 8:

$$\tan \Psi > \frac{\tan \theta}{\mu_s^2}. \quad (9)$$

On helppoa nähdä, että riittävän suurella värinän amplitudilla kappale hyppää eteenpäin jokaisella värinäsyklillä. Jotta kappale hyppää ilmaan, tukivoimaan N pitää mennä nol-
laan. Tämä toteutuu kun

$$N = m_p g \cos \theta - m_p a_0 \omega^2 \sin \Psi = 0. \quad (10)$$

Kappale siis hyppää eteenpäin kun

$$\frac{a_0\omega^2}{g} > \frac{\cos \theta}{\sin \Psi} \quad (11)$$

tai

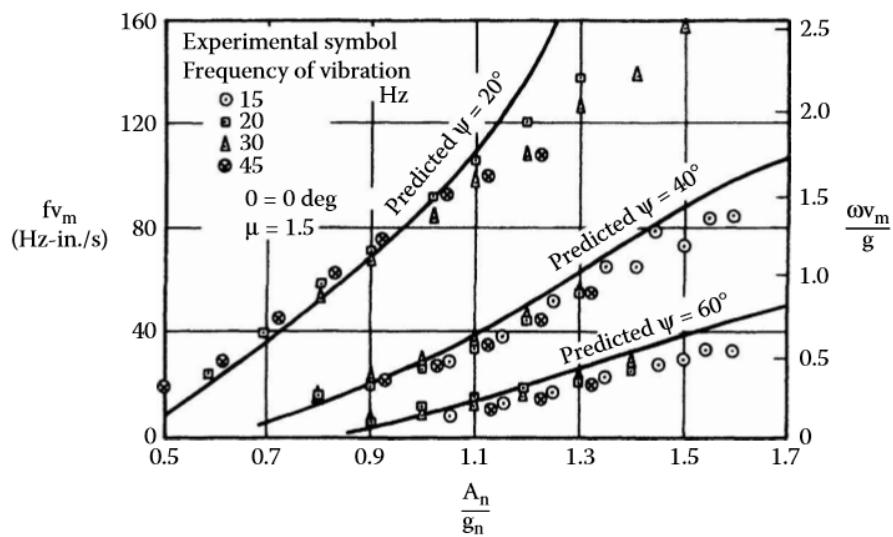
$$\frac{A_n}{g_n} > 1,0. \quad (12)$$

Boothroydin mukaan tärysyöttölaitteilla suurimmat syöttönopeudet saavutetaan juuri alueella, jossa osat kulkevat hyppien eteenpäin (Boothroyd 2005, s. 34). Kirjoittaja on tiivistänyt myös systeemin monen eri muuttujan vaikutukset. Hänen selvitystyönsä perustavanlaatuisen ajatus on se, että vakiolle ratakiihtyvyydelle (A_n/g_n) keskimääräinen syöttönopeus v_m on käänteinen taajuuteen f verrattuna. Täten

$$f v_m = \text{vakio}. \quad (13)$$

Tästä johtopäätöksenä tärinän taajuus kannattaa laskea niin alas, kuin se käytännössä helposti onnistuu. (Boothroyd 2005, s. 34) Tärinään perustuvia syöttölaitteita kannattaa ajaa mahdollisimman lähellä niiden ominaistaajuutta virrankulutuksen minimoimiseksi. (Reinhart & Loy 2010, s. 191) Tärysyöttölaitetta suunnitellessa tulee siis suunnitella syöttölaite, jonka ominaistaajuus osuu lähelle sitä rajaa, jossa osat juuri pomppivat tärytasolla eteenpäin. Tällöin syöttölaitteen syöttönopeus on suurin pienimmällä virrankulutuksella.

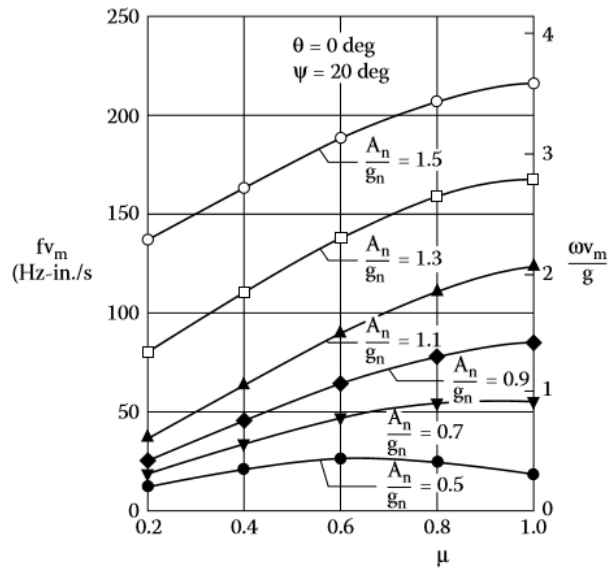
Kuten jo mainittiin, ratakiihtyvyys (A_n/g_n) on hyvä olla syöttölaitteessa yli 1, sillä silloin osat pomppivat radalla eteenpäin ja syöttönopeus paranee. Kuitenkin, kuten kuvasta 14 on havaittavissa, syöttönopeuden muutos ei käytännössä täysin seuraa laskennallista muutosta, kun dimensioton normaali ratakiihtyvyys kasvaa riittävästi yli yhden. (Boothroyd 2005, s. 34)



Kuva 14: Tärykulman, ratakiihtyvyyden ja taajuuden vaikutus syöttönopeuteen (Boothroyd 2005, s. 35).

Boothroyd epäilee, että riittävällä ratakiihtyvyydellä osat jäävät laskeutuessaan pomppiamaan tasolle ja tilanne osien syötössä ei enää seuraa laskennassa käytettyä mallia, vaan monimutkaistuu huomattavasti. Vaikka syöttönopeus kuvan 14 mukaan hieman kasvaa,kin myös silloin, kun käytäntö ei enää seuraa mallia, optimaalisin syöttötilanne on silloin, kun osat siirtyvät hyppäyksin, mutta ilman laskeutumisessa tapahtuvaa pomppimista. (Boothroyd 2005, s. 34)

Kuten kaavoista 1 ja 2 voidaan huomata, myös kitkakertoimilla on vaikutusta kappaleen liikkeeseen tärytasolla. Tätä on havainnollistettu kuvassa 15.



Kuva 15: Kitkakertoimen vaikutus syöttönopeuteen (mukaillen Boothroyd 2005, s. 38).

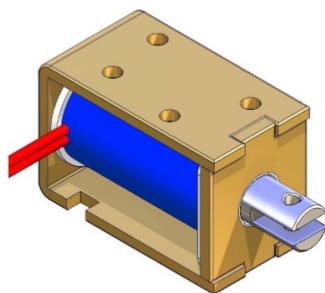
Kuvasta 15 nähdään, että otollisella alueella ($A_n/g_n > 1$), kitkakertoimen kasvattaminen tehostaa osien syöttöä. Kuvaaja kuvaa tilannetta, jossa tärytaso on vaakatasossa ja täryn suunta poikkeaa pystyakselista 20° . Tästä voidaan päätellä, että tärytason pinnan ja kappaleen välinen kitkakerroin tulee saada mahdollisuuksien mukaan maksimoitua. Kitkakertoimeen voidaan vaikuttaa esimerkiksi erilaisilla materiaali- ja pinnoitusvalinnoilla.

Wilsonin (2015) mukaan tärytasojen mekaniikan varsin kattavasta teoriasta huolimatta syöttölaitteiden suunnittelu muistuttaa enemmän taidetta kuin tiedettä ja perustuu usein kokemukseen.

2.7 Tärytason mekaniikan toteuttaminen periaatetasolla

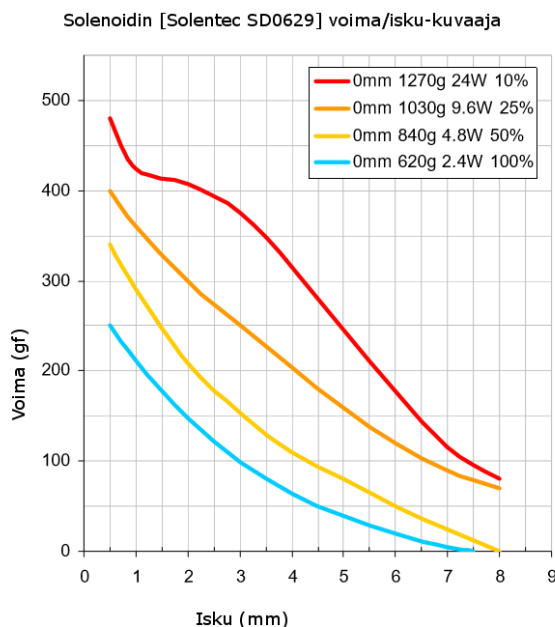
Tärytason mekanismi voidaan toteuttaa eri tavoin. Kuten tärymaljan periaatekuvasta (Kuva 12) nähdään, värinän aiheuttamiseksi käytetään usein jousia ja jotakin sähkömagneettista komponenttia. Yhden akselin suuntaisen värinän luomiseksi on laaja kirjo komponentteja ja toimilaitteita. Tällaisiin komponentteihin lukeutuvat muun muassa solenoidit, lineaariresonanssitoimilaitteet, ”äänikelatoimilaitteet” (voice coil actuator tai VCA) ja ilmalihas.

Solenoidit (Kuva 16) koostuvat yleensä kelasta, rauta- tai teräsytimeistä ja usein jousesta. Niiden ohjaukseen tarvitaan ainoastaan kytkin, joka sulkee kelan läpi kulkevan virtapiirin. Piirin sulkeutuessa solenoidi tyypistä riippuen joko työntää ytimen kelasta pois päin tai vetää ytimen kelan sisään. Kun virtapiiri taas avataan, mahdollinen jousi työntää ytimen takaisin alkuasentoon. (Electronicdesign.com 2012; Solentec)



Kuva 16: Solenoidi (Solentec).

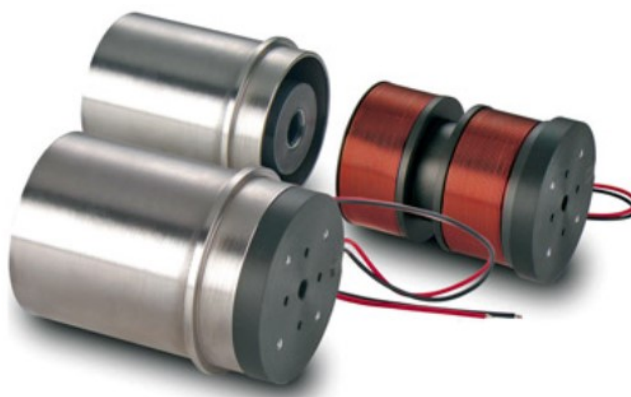
Kuvassa 17 nähdään, että solenoidin voimantuotto laskee nopeasti iskun aikana. Puolessa välissä iskua työntävä voima on laskenut noin kolmasosaan. Riippuen muusta mekaniikasta, voiman heikkeneminen saattaa vaikuttaa siihen, kannattaako solenoidia käyttää tärysyöttölaitteen tärinän lähteenä. Toinen vaikuttava tekijä on solenoidin käyttömäärä (duty cycle). Mikäli syöttölaitetta tulee täryttää joissakin sovelluksissa suuri osa ajasta, työnnön voimakkuus on heikompi, kuten kuvaajasta nähdään.



Kuva 17: Solenoidin voiman heikkeneminen iskun suhteessa. Eri käyttömäärät on merkattu kuvaajaan eri väreillä. (Mukaillen Solantec SD0629 datalehti)

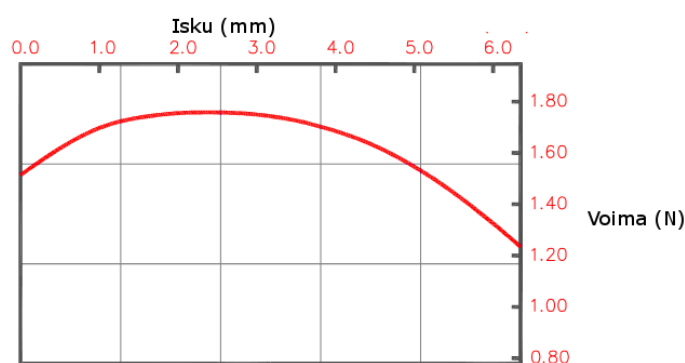
Äänikelatoimilaite eli VCA on usein käytössä tärysyöttölaitteen tärytason tärisyttäjänä. Niitä voidaan ohjata joko suljetulla ohjauksella tai avoimella ohjauksella. Suljettu ohjaus tarkoittaa sitä, että VCA:n liikkeestä saadaan jokin vaste, jonka avulla laitetta ohjataan, kun taas avoimella ohjauksella toimilaitteen tarkkaa asemaa ei tiedetä. VCA:ta voidaan ohjata varsin tarkasti myös avoimella ohjauksella, sillä sen voima riippuu suoraan sen ohjaukseen käytetyn virran suuruudesta. (McNamara 2012; Collins 2016) VCA:t ovat

kaksitoimisia eli niitä voidaan ajaa kumpaankin suuntaan käytetyn virran suunnasta riippuen.

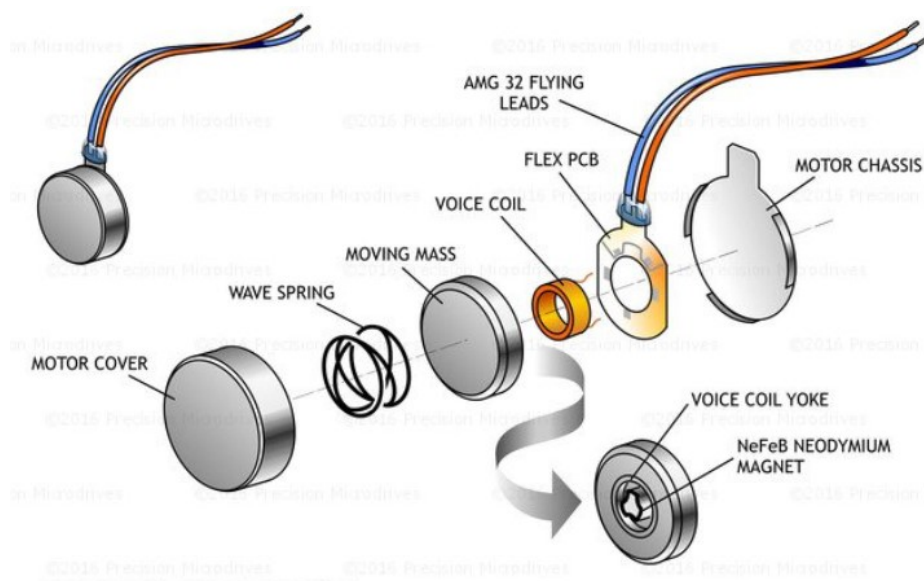


Kuva 18: Äänikelatoimilaite (McNamara, 2012).

VCA:n tuottama voima on melko vakio koko sen liikematkan ajan, kuten nähdään kuvasta 19. Kuvaajassa on halkaisijaltaan 16 mm äänikelatoimilaitteen jatkuva voimantuotto.

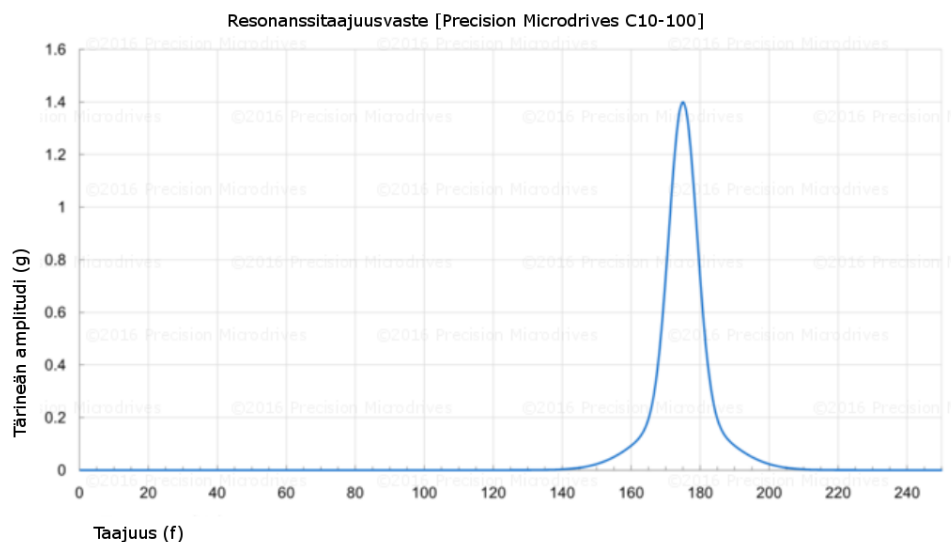


Kuva 19: Äänikelatoimilaitteen tuottama voima iskun funktiona (mukaillen Moticont-datalehti).



Kuva 20: Lineaariresonanssitoimilaite (Precisionmicrodrives.com, 2017).

Lineaariresonanssitoimilaitteen toiminta on käytännössä sama kuin äänikelan, mutta laitteen toiminta perustuu nimenomaan resonanssitaajuuteen, jossa toimilaitteen sisällä oleva massa alkaa täristä voimakkaasti. (Precisionmicrodrives.com, 2017) Toisin kuin äänikelatoimilaitteen, lineaariresonanssitoimilaite toimii siis tehokkaasti ainoastaan hyvin kapealla taajuusalueella, kuten nähdään kuvasta 21.



Kuva 21: Resonanssiaktuuaattorin taajuusvaste (mukaillen Precisionmicrodrives.com, 2017).

Ilmalihakas on lihaksenkaltainen paineilmakomponentti, jolla saadaan luotua pieniä siirtymiä varsin suurilla voimilla paineilman avulla. Festo tarjoaa valikoimaa paineilmalihak-

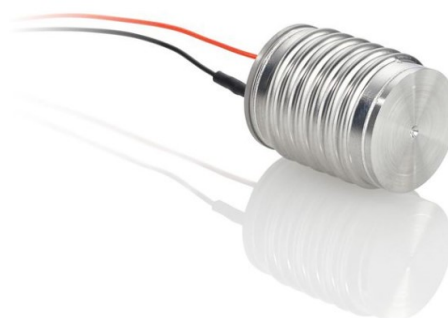
sia, joista pienimmät ovat halkaisijaltaan 7 mm ja suurimmat 44 mm. Maksimivoima pienellekin sylinterille on jopa 140 Newtonia. (Festo datalehti) Paineilmalihaksia on kuvassa 22.



Kuva 22: Feston ilmalihaksia. (Festo.com, 2017)

Ilmalihaksilla saavutetaan suuren voiman lisäksi myös melko nopea, maksimissaan 140 Hz taajuus, joka on amplitudin tavoin säädettävissä. Toimiakseen paineilmalihaksen vaatii luonnollisesti paineilmaa ja paineilmaventtiilin lihaksen ohjaukseen. (Festo datalehti) Ilmalihasten heikkous on se, että ne ovat yksitoimisia: ilmalihaksen avulla voidaan ainoastaan vetää ja lähtötilanteeseen palauttava voima pitää luoda jollain muulla komponentilla, kuten jousella.

Pietsosähköisen toimilaitteen taajuus on yleensä useita kilohetrsejä ja isku joitakin kymmeniä mikrometrejä. Niiden käyttö ainakin Weberin ruuvinsyöttölaitteessa (Luku 2.9) näkyy alhaisena melutasona. Pietsosähköisiä tärytoimilaitteita on saatavilla varsin rajoitetusti, ne ovat listatuista vaihtoehdoista arvokkaimpia ja vaativat ohjaukseen erillisen ohjaimen. (Physik instrumente Ltd Uk, 2017) Pietsosähköiseen ilmiöön perustuva toimilaitte nähdään kuvassa 23.



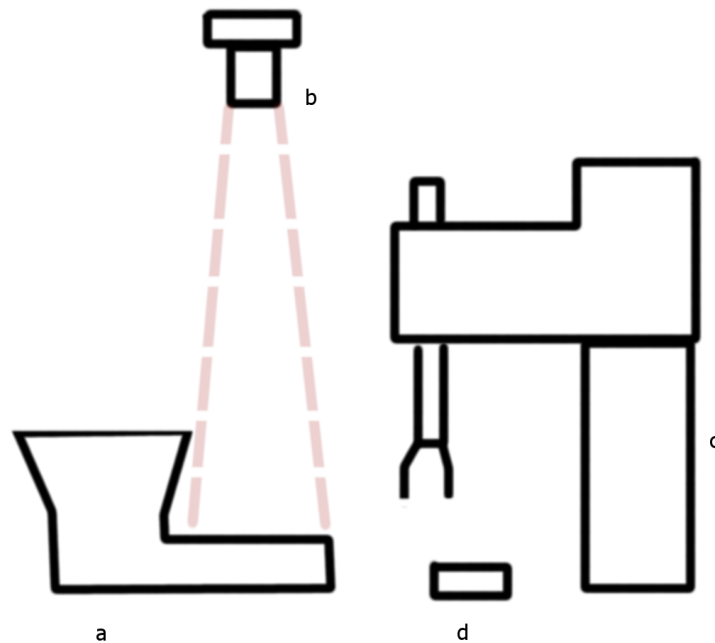
Kuva 23: Pietsotoimilaite (www.physikinstrumente.co.uk).

Markkinoilla on saatavilla lisäksi joitakin valmiita tärykomponentteja, joita on käyty läpi liitteessä I.

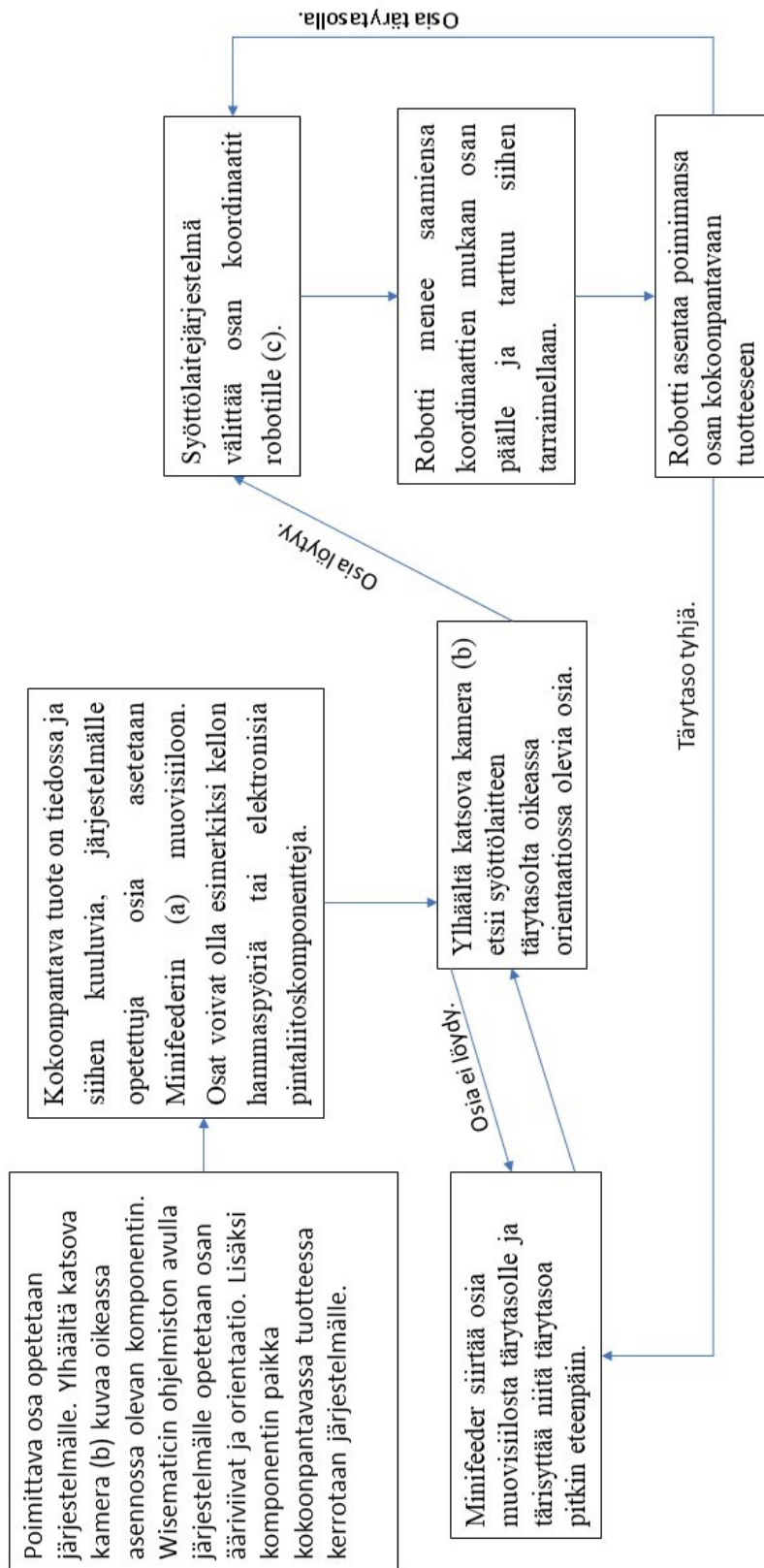
Syöttölaitteen suunnittelussa käytettävät toimilaitteet ovat vain yksi osa vaadittavaa selvitystyötä. Itse toimilaitteen rakenne ja se, kuinka valittuja toimilaitteita hyödynnetään, ovat iso osa suunnittelua. On toki järkevää myös selvittää aiempien syöttölaitteiden toiminnallisuus.

2.8 Syöttölaiteperheen aiempien syöttölaitteiden toiminta

Minkä tahansa tuotteen suunnitteluun vaikuttaa luonnollisesti se, miten tuotetta käytetään ja mikä sen käyttötarkoitus on. Tässä luvussa käydään läpi tavanomainen työsykli Minifeeder 20:tä käytettäessä. Työkierron (Kuva 25) osaviittaukset viittaavat kuvaan 24.

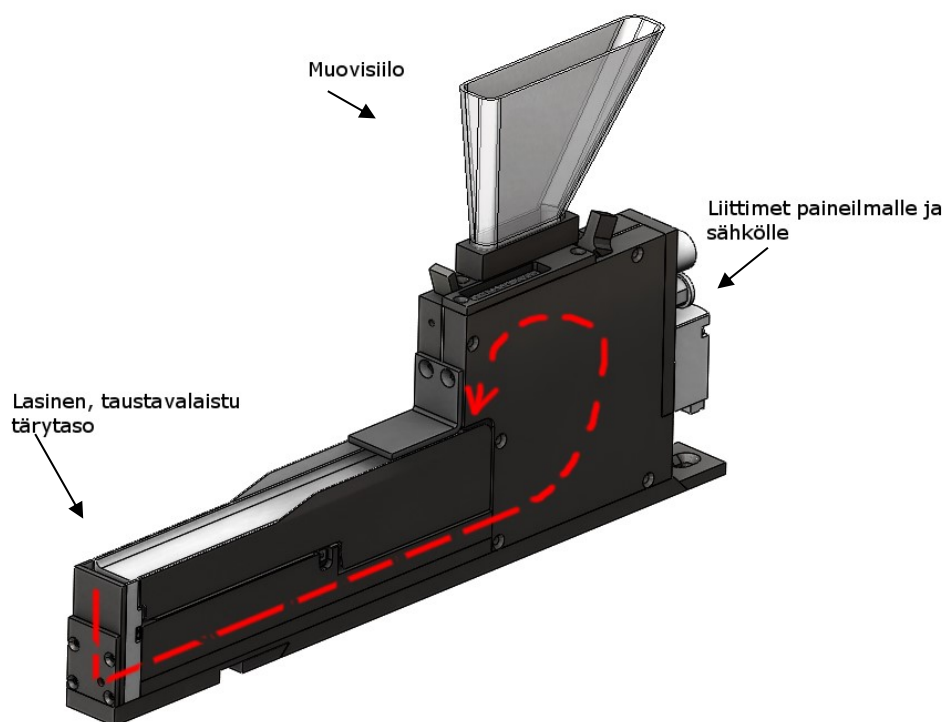


Kuva 24: Minifeeder 20:n periaatekuva. Kuvassa Minifeeder20 (a), konenäköjärjestelmä (b), robotti (c) ja kokoonpantava tuote (d).



Kuva 25: Wisematic Minifeeder 20 toimintakaavio.

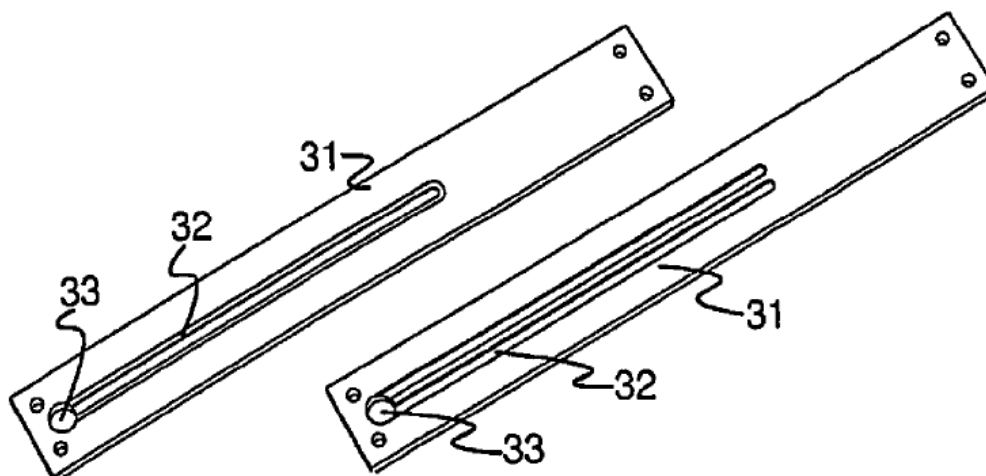
Minifeeder 20:n toiminta perustuu tärytasoon ja sillä voidaan syöttää osia, joiden ulkomitta on maksimissaan kuusi millimetriä. Tärytaso on taustavalaistu ja konenäöllä paikannetaan tasolta kokoonpantava osa robotin poimittavaksi. Mikäli ylhäältä tärytasoa katsova kamera ei löydä osia poimittavaksi, se antaa syöttölaitteelle käskyn siirtää tärytasolle lisää osia. Jos tärytasolla on väärässä asennossa olevia osia, eikä niitä voida poimia, laite palauttaa poimimattomat osat takaisin tärytason alkupäähän paineilman avulla. Paineilmatoimisen osien palautuksen reitti on hahmoteltu kuvaan 26.



Kuva 26: Wisematic Oy:n Minifeeder 20. Kuvaan on merkitty punaisella syötettävien kappaleiden takaisinvirtaus.

Minifeeder 20 toimii hyvin osille, joille se on suunniteltu. Suurin osa halkaisijaltaan alle 6 mm kappaleista voidaan syöttää kyseisellä syöttölaitteella ongelmitta. Erityisen hyvin laite suoriutuu, jos osat ovat kevytrakenteisia ja geometrisesti haastavia. Esimerkiksi T-mallisten kappaleiden syöttö onnistuu laitteella niin, että osat voidaan poimia T:n yläpinnalta, sillä syöttölaitteen palautusmekanismin ansiosta tärytasoon voidaan koneistaa komponentteja kääntäviä uria (Kuva 27, kohta 32). T-mallisen osan kulkiessa tärytasolla jokin sen sakaroista asettuu uraan. Väärässä asennossa olevat osat tippuvat tärytason aukosta

(Kuva 27, kohta 33) ja palaavat kuvan 26 reittiä takaisin tärytason alkupäähän. Oikeassa asennossa olevat osat poimitaan. Kuva on osa Wisematicin syöttölaittepatenttia.



Kuva 27: Wisematicin patentti uritetusta syöttötasosta, jolla syötettävät osat saadaan kääntymään uran avulla oikeaan asentoon. (Uusitalo, Viinikainen 2006, s. 3)

Jos kappaleen massa kasvaa kovin suureksi, osien palauttaminen paineilmalla alkaa olla syötetyille osille rajuotteinen menetelmä ja siten paineilmaperusteinen palautusjärjestelmä ei ole suoraan skaalattavissa suurempaan kokoluokkaan. Joko paineilmatoiminen palautus vaatii osittain uudelleensuunnittelua tai sen tilalle täytyy suunnitella jokin isommille osille toimiva järjestelmä.

Vaikka Minifeeder 20:n kaikkia osa-alueita ei voidakaan suoraan hyödyntää ja skaalata suurempaan kokoluokkaan, jotkin osa-alueet sen toiminnasta ovat kuitenkin toimivia myös isommalle syöttölaitteelle.

Konenäöllä paikoitettavalle osan koolle ei ole varsinaista ylärajaa ja konenäköperusteinen paikoitus myös uudelle syöttölaitteelle on todennäköisesti oikea valinta. Ohjelmistorajapinnat ja itse konenäköohjelma ovat jo valmiina ja ne on todettu toimiviksi.

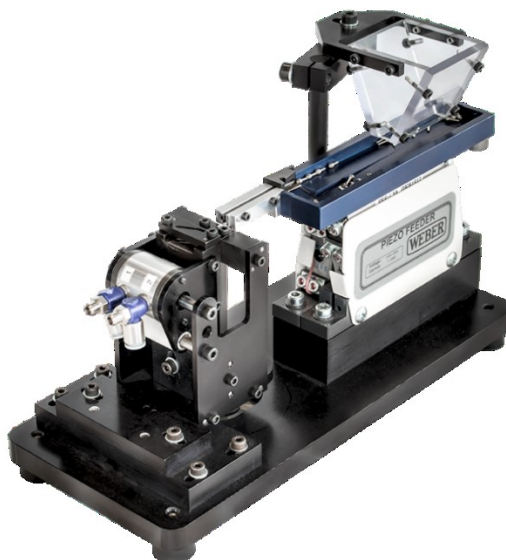
2.9 Kilpailijat ja patentit

Yritys jolle työ tehdään, ei ole ainoa, joka markkinoi pienille osille tarkoitettua joustavaa syöttölaitetta. Hakukonetta käyttäen vastaavien laitteiden valmistajia – suoria kilpailijoita – löytyy muutamia. Tulee kuitenkin muistaa, että teollisuudessa usein valmistaja valmistaa tuotteen suoraan asiakkaan tarpeisiin, eikä tällaisia valmistajia ole helppo löytää. Lisäksi osa valmistajista on erikoistunut esimerkiksi pelkkien pulttien tai puolijohdekomponenttien syöttölaitteiden suunnitteluun ja myyntiin, eivätkä markkinoi syöttölaitteita kaiken tyyppisille osille. Tietyille asiakasryhmälle syöttölaitteita myyvät valmistajat eivät siis välttämättä ole suoria kilpailijoita, vaikka heidän asiakasryhmänsä voisivat käyttää

yhtä hyvin joustavia syöttölaitteita. Kilpailijoiden tuotteet poikkeavat toisistaan mekaniikan osalta melko paljon, vaikka tärytaso on kaikissa yhteistä. Tärytason toteutuksessa, niiden määrässä ja tarkoituksissa on eroja. Tuotteen suunnittelun pohjatyötä on tehty yrityksessä jo ennen tämän työn kirjoitusta aiempia syöttölaitteita suunniteltaessa. Kuitenkin nyt pääpaino on erityisesti skaalautuvan syöttölaitteen suunnittelussa ja siksi kilpailijoiden kartoitus nähtiin hyödylliseksi.

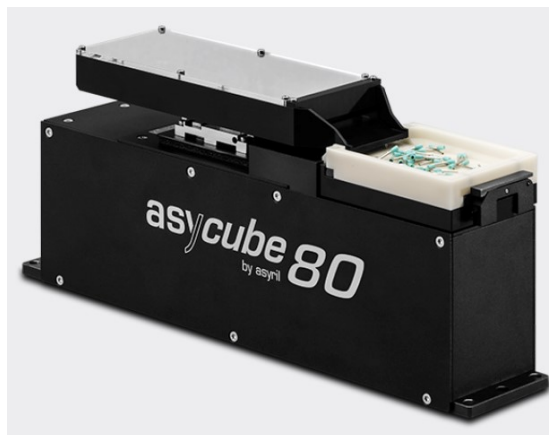
Kilpailijakartoituksessa huomattiin, että yleisimpiä toimintamalleja syöttölaitteille on kaksi. Kaksi vierekkäistä tärytasoja voivat kuljettaa osia niin, että toinen taso kuljettaa osia yhteen suuntaan ja toinen takaisin. Weberin ruuvinsyöttölaite (kuva 28) on hyvä esimerkki kahden vierekkäisen tärytason mallista. Toinen yleinen malli on kahden peräkkäisen tärytason malli. Ensimmäinen tärytaso toimii varastotasona ja tiputtaa varsinaiselle poimintatasolle osia vähän kerrallaan.

Weber on ruuvaamisen ja pulttaamisen automatisointiin erikoistunut yritys. Heillä on hallussaan useita erilaisia syöttölaitteita, joista Micro Piezo Inline Feeder (kuva 28) muistuttaa eniten Wisematic Oy:n syöttölaitteita kokonsa ja toiminnallisuutensa puolesta. Micro Piezo Inline Feederissä on kaksi vierekkäistä tärytasoja. Ruuvit vaihtavat asentoa pudotessaan tasolta toisella. Vain oikeassa asennossa olevat pultit pääsevät pois tärytasolta mekaanisten ohjurien vuoksi – samalla tavoin kuin tärymaljoissa. (Weber-online.com, weberusa.com)



Kuva 28: Weber Micro Piezo Inline Feeder ZEP090 ruuvien ja pulttien syöttölaite (Weberusa.com, viitattu 22.3.2017)

Asyрил-niminen yritys voidaan nähdä suoraksi kilpailijaksi. Heidän Asycube-syöttölaite-sarjansa pyrkii täyttämään samat asiakkaiden tarpeet ja vielä melko samankaltaisella ratkaisulla, kuin Wisematic Oy:n syöttölaitteet. Kuvassa 29 nähdään Asyрилin Asycube 80-syöttölaite.



Kuva 29: Asyрил Asycube 80, pienten komponenttien joustava syöttölaite (Asyрил.com, viitattu 23.7.2017).

Asycube-syöttölaiteessa on tärykuljetin ja poimintataso erikseen. Syöttölaiteperheellä pystyy Asyрилin mukaan syöttämään osia alle 0,1 mm:stä 40 mm:iin asti. Asyрил omistaa myös syöttölaitteisiin liittyviä patenteja, joita tutkitaan myöhemmin tässä luvussa. Patentin perusteella voidaan päätellä, että todennäköisesti ainakin Asyрилin Asycube 80- ja 40-malleissa tärytasojen täry luodaan VCA:n avulla ja poimintatasoa voidaan tärisyttää kolmessa suunnassa X, Y ja Z.

Omronin omistama Adept Technologies myy omaa joustavaa syöttölaitettaan. Ulkomuodoltaan Adeptin Anyfeeder muistuttaa melko paljon Asyрилin Asycube-syöttölaitteita. Adeptin Anyfeederissä on samaan tapaan bulkkitarvikkeiden syöttöön tärisytettävä varastotaso, joka tiputtaa vähän kerrallaan osia varsinaiselle tärytasolle. Anyfeeder nähdään kuvassa 30.



Kuva 30 : Omron Adept Anyfeeder. Kilpaileva pienten osien syöttölaite. (Adept.com, viitattu 22.3.2017)

Vaikka Adeptin syöttölaite onkin toimintaperiaatteeltaan lähellä sekä Asyrilin että Wisematicin syöttölaitteita, se poikkeaa kooltaan merkittävästi kummastakin. Adeptin syöttölaite on pituudeltaan yli metrin, kun Wisematicin Minifeeder 20 on alle 25 cm ja Asyrilin Asycube 80 on noin 30 cm (Adept AnyFeeder User's Guide, Wisematic.com, Asyril.com).

Yhtenä kilpailijana voidaan nähdä Mikron, joka tarjoaa valmiita syöttö- ja kokoonpanopaketteja joustavaan tuotantoon. Mikronin Polyfeed (Kuva 31) on tuotantolinjalle asennettava kokoonpanosolu. Tuotteet virtaavat solun läpi ja solu hoitaa kokoonpantavien komponenttien syöttämisen ja asentamisen. Solun sisällä on ulkoisesti ja toiminnaltaan paljon Adeptin Anyfeederiä muistuttava syöttölaite ja karteellinen robotti osien poimintaa ja asennusta varten.



Kuva 31: Mikron Polyfeed kokoonpanosolu (Mikron.com, viitattu 30.3.2017).

Kilpailijakatsauksen lisäksi tehdään myös patenttiselvitystä ennen varsinaisen suunnittelun aloitusta. Perehtymällä alan patentteihin saadaan tietoa markkinoilla olevista tuotteista ja erilaisista soveltuvista menetelmistä. Osalla kilpailijoista on hallussaan patenteja, joten patenttiselvityksen kautta saadaan tietoa myös tarkemmin kilpailijoiden teknologioista ja voidaan välttää mahdollinen patentoitujen teknologioiden käyttö. Lisäksi vanhentuneiden patenttien joukosta saattaa löytyä uudelleenkäyttöarvoa. Patentit koostuvat selitysosasta, patenttivaatimuksista, piirustuksista ja tiivistelmästä (Aho et. al. 2017).

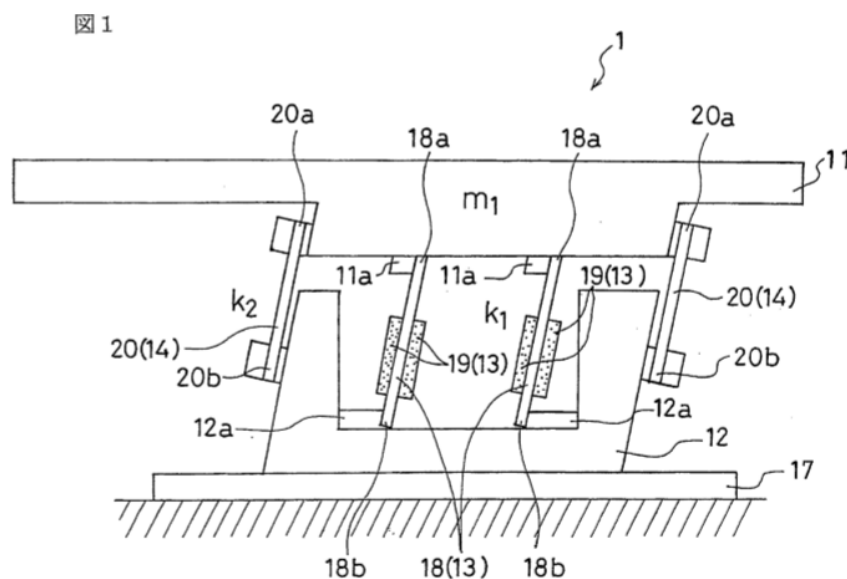
Hakemuksen selitysosassa keksintö kuvataan yksityiskohtaisesti. Alan ammattilaisen pitää pystyä selityksen perusteella ymmärtämään laitteen toiminta ja toteuttamaan se. Selitys koostuu yleisestä ja erityisestä osasta. Yleisessä osassa kerrotaan patentoidun keksinnön nimi ja tietoa tekniikan alasta, jolle keksintö on suunnattu. Selityksessä ilmenee, mitä etua keksinnön käytöstä on vanhoihin menetelmiin verrattuna ja mitä puutteita keksintö niihin verrattuna ratkaisee. Selityksen erityisessä osassa on kuvaus kaikista piirustuksissa näkyvistä osista ja kuvioista, vähintään yksi esimerkki keksinnön käytöstä ja sen muunnosvaihtoehtoja. Yksi patentti voi suojata vain yhtä keksintöä. (Aho et. al. s. 10-11, 2017)

Patenttivaatimuksissa pitää täsmällisesti mainita mitä ja miten laajasti patentilla halutaan suojata. Lisäksi vaatimuksissa tulee selvittää, kuuluuko patentti tuote-, laite-, menetelmä-

tai käyttöryhmään. On olemassa itsenäisiä ja epäitsenäisiä patenttivaatimuksia. Itsenäinen vaatimus suojaa itse keksintöä ja itsenäisiä vaatimuksia voidaan patenttiin määritellä useita. Epäitsenäisellä patenttivaatimuksella voidaan suojata esimerkiksi jonkin patentoidun keksinnön toteuttamismuoto. (Aho et. al. s. 12-14, 2017)

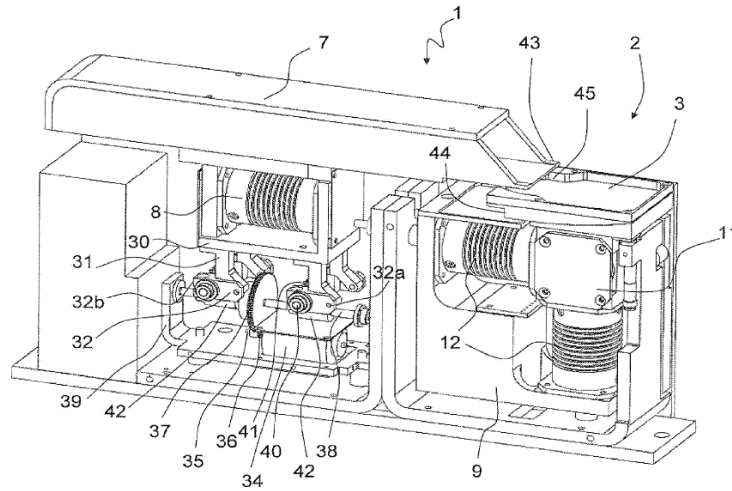
Patenttiin sisältyvät myös piirustukset ja tiivistelmä. Piirustuksessa tulee selvittää kaikki yksityiskohdat, joita selityksen ymmärtäminen vaatii. Yksityiskohdat on merkattu numeroihin ja niihin viitataan patentin selityksessä. Tiivistelmä kuvaa keksinnön mahdollisimman lyhyesti ja siinä tulee näkyä keksinnön nimi ja olla kuvattuna se ongelma, johon keksintö tarjoaa ratkaisua. (Aho et. al. s. 14-15, 2017)

Patentteja etsittiin erityisesti Euroopan patenttitoimiston Espacenetin avulla. Patenttihaun avulla löytyi myös tietoa kilpailevista yrityksistä ja eri tärymekanismeista. Kuvassa 32 nähdään piirustus Shinko Electric-nimisen yrityksen patentoimasta pietsosähköisiin tärygeneraattoreihin perustuvasta syöttölaitteesta. Kuvassa nähdään muun muassa tärygeneraattorit (19), tärytaso (11) ja joustavat tuet (20).



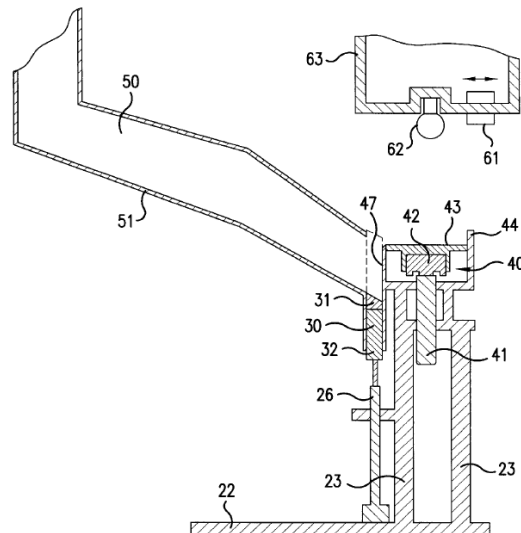
Kuva 32: *Pietsosähköön perustuva tärylaite. Joustavat tuet (20) myötävät, kun pietsosähköiset tärygeneraattorit (13) värisevät. (Shuuichi, Tetsuyuki 2004)*

Kuvassa 33 nähdään jo aiemmin mainitun Asyril-nimisen joustavan syöttölaitteen patentin kuva. Patenttivaatimusten mukaan Asyril on patentoinut laitteen, jolla tärytaso (3) voidaan värähtyttää kaikissa kolmessa suunnassa x, y ja z. Lisäksi patenttivaatimuksissa on listattu kuljetin (7), joka on oma tärytasonsa ja kuljettaa kokoonpantavia komponentteja tärytasolle. Kuljettimen mahdollinen siirto tärytason alapuolella on myös patentoitu. (Perroud et al., 2010)



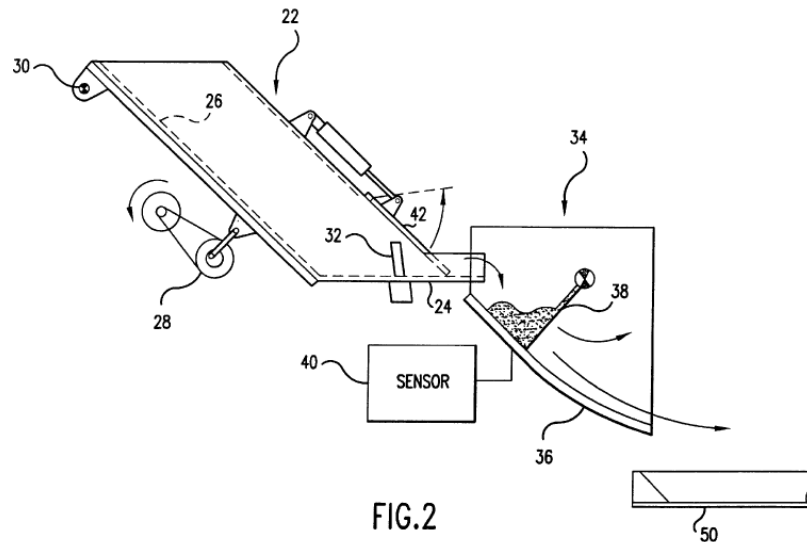
Kuva 33: Asyri SA:n patentoima pienten osien syöttölaite (Perroud et al., 2010)

Alla on kuvattu Mikronin syöttölaitepatentti (kuva 34). Kuvassa nähdään asennettavien komponenttien säiliö (50), komponenttien palautus- ja syöttöjärjestelmä (30-32), tärytaso (40-43) ja syöttölaitteen päälle siirrettävä konenäkökamera (61) ja sen valo (62). Komponenttien syöttöjärjestelmä (30-32) toimii hissien tavoin ja siirtää osia tärytasolle: hissien yläasento on piirretty kuvaan katkoviivalla. (Gretsch & Ryser 2003)



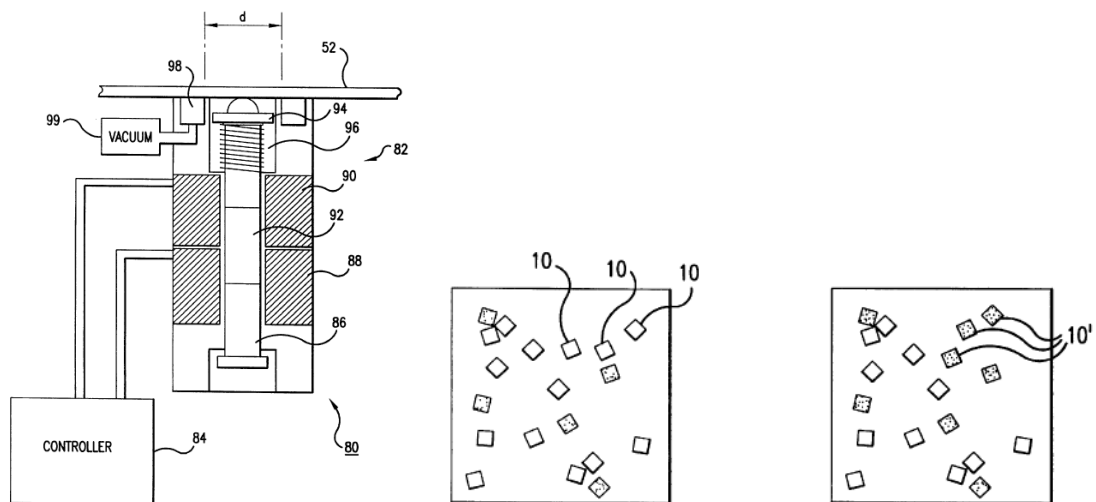
Kuva 34: Mikronin syöttölaitepatentin kuva. Kuvassa syöttölaitteen halkileikkaus. (Gretsch & Ryser 2003)

Kuvassa 35 on hieman vanhempi syöttölaitepatentti. Kuvattu syöttölaite koostuu kolmesta pääosasta. 22 on syötettävien komponenttien säiliö, jota toimilaite (28) keinuttaa. Säiliöstä osat valuvat keinutuksen myötä joko suoraan poimintatasolle (50) tai mittalaitteelle (34). Mittalaitteosio toimii puskurivarastona ja sen avulla voidaan hallita paremmin poimintatasolle syötettävien osien lukumäärää.



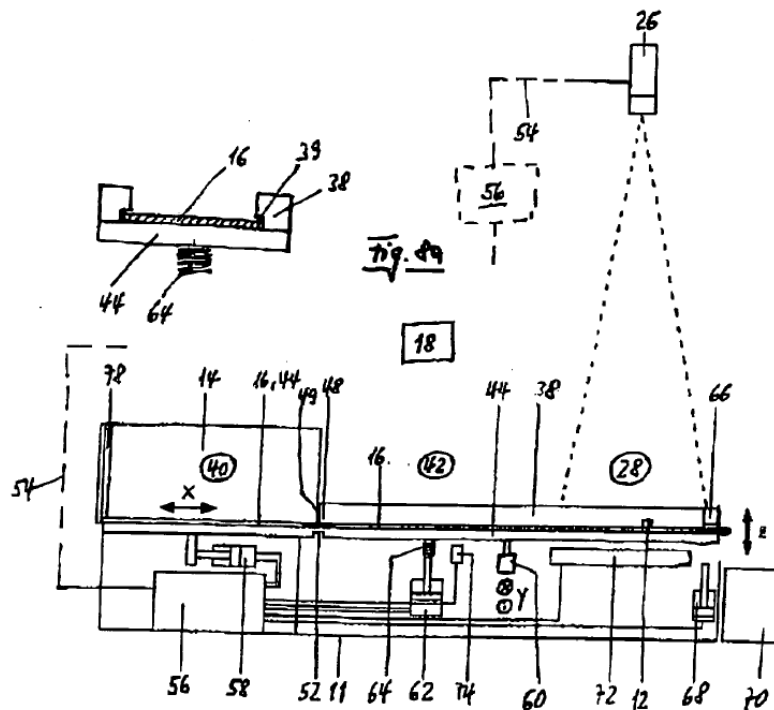
Kuva 35: Joustavan syöttölaitteen patenttikuva (Buchi et. al. 1997)

Tärytason toiminnallisuus on kuvattu patentissa erikseen. Tärytason pinta on joustava ja sen alla on yksi tai useampia tasossa liikutettavia ”vasaroita” (Kuva 36) joilla voidaan kohdistaa impulssi tärytason (50) pintaan alhaalta päin. Iskun voimasta pinnan yläpuolella olevat osat (Kuva 36, komponentti 10) kääntyvät eri asentoon.



Kuva 36: Vasemmalla kuvattu vasara (80) kääntää tasolla olevat komponentit (10) iskemällä syöttötason pintaan alhaalta päin (Buchi et. al. 1997).

Kuvassa 37 nähdään monen muun patentin syöttölaitteesta poiketen laite, jossa tärytasoja on vain yksi. Kuvatun syöttölaitteen tärytasoa (16,44) poikkeutetaan x- ja y- suunnissa toimilaitteilla 58 ja 60. Toimilaitteella 62 poikkeutetaan tärytasoa z-suunnassa ja tärytaso saadaan pomppimaan kuin pomppulauta: tason z-poikkeama kasvaa kuvassa oikealle. Pomppulautamaisen tärinän myötä tärytaso voidaan jakaa kolmeen osaan. Varasto-osuudessa (40) on useita komponentteja päällekkäin ja se toimii nimensä mukaan varastona. 42 on tärytason levittävä osuus. Komponentit pomppivat yhä voimakkaammin ja ne siirtyvät yhä enemmän irti toisistaan. Poiminta-alueella (28) osat ovat niin irti toisistaan, että ne voidaan poimia robotin avulla konenäkökameralla (26) kuvantamisen jälkeen. Väärässä asennossa olevat komponentit tippuvat tärytasolta puhdistussäiliöön (70). Automaattista puhdistussäiliön tyhjennystä komponenttien varasto-osuuteen patentissa ei ole kuvattu.

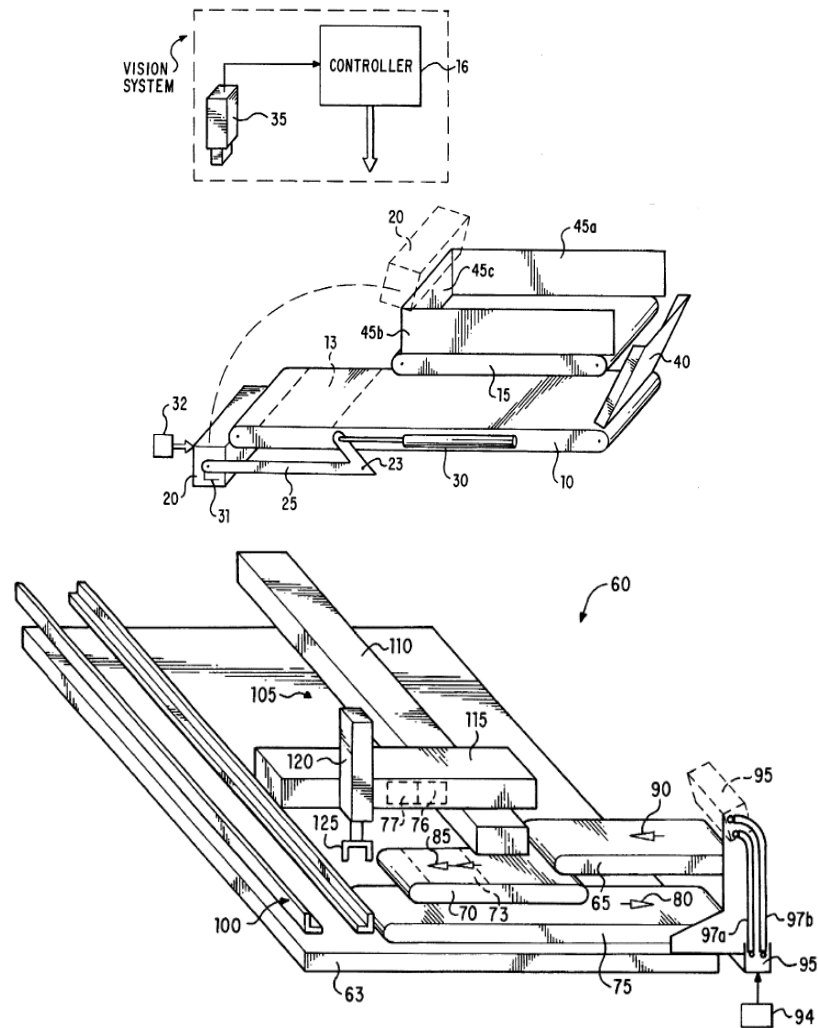


Kuva 37: Joustava syöttölaite, jonka toiminta perustuu pomppulautamaiseen tärylevyyyn (Buchi 2005).

Carlisen ja Alton patentissa (1997) kuvataan mielenkiintoinen kuljetinhihnoihin perustuva syöttölaite. Kuten muutkin tässä työssä kuvatut syöttölaitteet, kappaleen tunnistus tehdään konenäköä hyväksi käyttäen, mutta tärytason tilalla on kuljetinhihna. Kaksi eri versiota laitteesta nähdään kuvassa 38.

Kummassakin versiossa ylin hihna (15) toimii puskurina ja tiputtaa kokoonpantavia osia alemmalle hihnalle (10), joka kuljettaa ne robotin poimittavaksi alueelle 13. Siitä robotti konenäköä hyväksi käyttäen poimii niistä oikeassa asennossa olevat. Väärässä asennossa

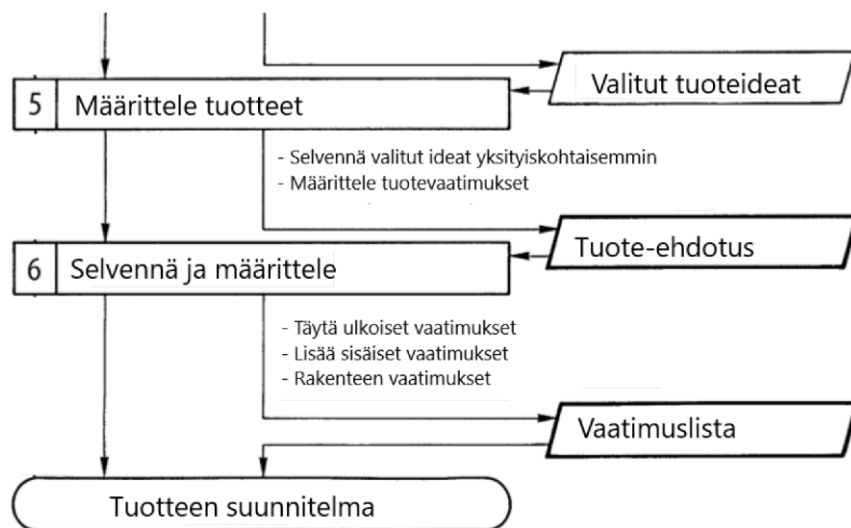
olevat tippuvat kahden hihnan versiossa kaukaloon (20) ja kolmen hihnan versiossa alemmalle hihnalle (75), joka kuljettaa osat takana sijaitsevaan kaukaloon (95). Kaukalot tyhjennetään ajoittain kummassakin konfiguraatiossa takaisin ylimmälle hihnalle, jolloin yksittäisen osan kierto alkaa alusta.



Kuva 38: Kuljetinhihnoihin perustuva syöttölaite. Yllä kahden hihnan ja alla kolmen hihnan syöttölaitteesta (Carlisle & Alto 1997).

3. SYÖTTÖLAITTEEN VAATIMUSTEN MÄÄRITTELY

Työn luvut tähän asti ovat toimineet pohjana itse syöttölaitteen suunnittelulle. Kuten aiemmin mainittiin, nyt suunniteltava syöttölaite on jatkoa Wisematic Oy:n syöttölaiteperheelle. Tuotteen suunnittelun aiemmat vaiheet, kuten markkinatilanteen analysointi, on jo tehty ja osa tuotteen vaatimuksista on jo tiedossa. Tässä luvussa pyritään vertailemaan eri syöttölaitemalleja, jonka jälkeen voidaan määrittellä tuote tarkemmin. Kun tuotteeseen valittuja ideoita selvitetään, voidaan tehdä tuote-ehdotus. Tuote-ehdotuksen jälkeen saadaan luotua lista tuotteen sisäisistä vaatimuksista. Suunnittelun kulku nähdään kuvassa 39. (Pahl et al. 2008, s. 67-75) Lista vaatimuksista, eli työn tuloksista, nähdään kappaleessa 4.



Kuva 39: Tuotteen suunnittelun kohdat 5 ja 6 (mukaillen Pahl et al. 2008, s. 67).

Vaikka tärytason tuleekin olla skaalattavissa isommille ja pienemmille komponenteille, fyysisen koon määrittää nyt syötettävien osien koko. Minifeeder 20 syöttää komponentteja noin kuuden millin halkaisijaan saakka. Nyt suunniteltavan laitteen olisi hyvä syöttää osia noin 12 millimetrin halkaisijaan saakka.

Jotta mahdollisimman paljon Minifeeder 20:n ohjausta voitaisiin hyödyntää, tulisi tässäkin syöttölaitteessa osien paikoitus tapahtua samalla tavoin konenäön avulla. Aiemman syöttölaitteen suunnittelun ja työn teoriaosuuden perusteella tiedetään, että mahdollisimman luotettavan konenäköperusteisen kappaleentunnistuksen ja -paikoituksen varmistamiseksi poimintataso tulee olla taustavalaistu ja sitä myöten läpikuultava tai läpinäkyvä. Sen lisäksi, että tärytaso tulee olla taustavalaistu, väärässä asennossa tärytasolla olevat osat eivät saa jäädä täysin poimimatta, vaan ne pitää saada käännettyä jollakin tavalla.

Tämän työn luvussa 2.4 perehdyttiin automaattisen kokoonpanon tärkeimpiin komponentteihin. Roboteista yleisimmin kokoonpanotyössä käytetään SCARA-mallisia robotteja ja kokoonpanotyössä robotti nostaa osan suoraan alhaalta ylöspäin. Vaikka osat saadaankin tärytasolla kulkemaan ylämäkeen, olisi tärytason hyvä olla vaakatasossa ainakin alueella, josta robotti tarraa asennettavaan komponenttiin.

Boothroydin johtamien yhtälöiden perusteella kappaleiden syöttö on tehokkainta, kun ne pomppivat tärytasolla eteenpäin. Kaavojen avulla voidaan selvittää tärytasoa tukevien jousten kulma, jäykkyys ja tärytasoa tärisyttävän toimilaitteen voimantuottotarve.

Eri tärykomponenttivaihtoehtoja vertailtiin *Engineering Design* (Pahl et al. 2008) taulukkoa 3.27 mukaillen (Taulukko 1). Kukin toimilaite laitettiin omille riveilleen ja niitä arvoitiin eri kriteerein. Onko toimilaite varmasti käytettävissä tässä sovelluksessa? Entä täyttääkö toimilaite sille asetetut vaatimukset? Nyt vaatimuksena toimilaitteelle olivat pieni koko, säädettävissä oleva taajuus ja amplitudi ja toimilaitteen hyvä saatavuus eri kokoluokissa. Lisäksi arvoitiin käytännön mahdollisuutta toteuttaa tärytason toiminta kullakin toimilaitteella. Nyt yksitoimisten toimilaitteiden kohdalle laitettiin merkki lisäselvitykseksi, sillä vielä ei voida tietää riittääkö tässä sovelluksessa yksitoiminen toimilaite vai tarvitaanko ohjaus kahteen suuntaan. Myös toimilaitteiden hinta ja sopivuus standardeihin arvioitiin.

| Minifeeder | | Tärytason toimilaitteen valintataulukko | | | | | | | |
|------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Toimilaite | | Valintakriteeri | | | | | | Päätös | |
| | | + Kyllä - Ei ? Ei riittävästi tietoa ! Tarkista vaatimustaulukko | | | | | | + Seuraa - Eliminoi ? Kerää lisätietoa ! Tarkista vaatimustaulukko muutosten varalta | |
| | | Yhteensopivuus taattu | | | | | | | |
| | | Täyttää vaatimuslistan kohdat | | | | | | | |
| | | Toiminnaltaan toteutettavissa | | | | | | | |
| | | Sallittujen kustannusten sisällä | | | | | | | |
| | | Suoraan turvallisuusstandardiyhteensopiva | | | | | | | |
| | | A | B | C | D | E | Huomiot | | |
| Lineaariresonanssiakt. | 1 | - | - | - | + | ? | Liian kapea taajuusalue | - | |
| Solenoidi | 2 | - | + | ? | + | - | Voima heikkenee. Yksitoiminen. | + | |
| VCA | 3 | + | + | + | + | + | Joustava, mutta pienentää katetta | + | |
| Ilmalihas | 4 | + | + | ? | + | + | Ohjattavissa vain yhteen suuntaan | + | |
| Pietsotoimilaite | 5 | - | - | ? | - | + | Heikko saatavuus. Kallis. | - | |
| Liite I A | 6 | - | + | ? | + | + | Ohjattavissa vain yhteen suuntaan | + | |
| Liite I B | 7 | - | - | ? | + | + | Ei kokovaihtoehtoja | - | |

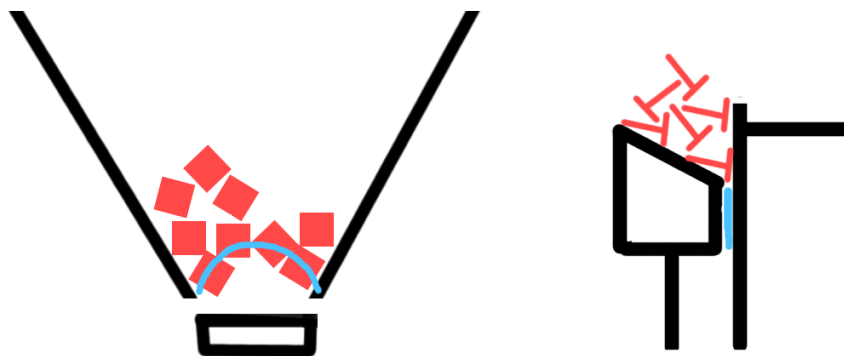
Taulukko 1: Tärytoimilaitteiden arviointi mukaillen Pahl et al. (2008).

Taulukoinnin tuloksena osa toimilaitteista saatiin rajattua pois. Lineaarirenonanssiaktu-aattori nähdään taulukon avulla liian joustamattomaksi. Solenoidin nopean voiman heikkenemisen takia ei voida taata sen toimintaa. VCA on melko varma valinta syöttölaitteen toimilaitteeksi. Kuitenkin, vaikka se ei ylitä budjettia, pienentää sen käyttö selkeästi katetta verrattuna esimerkiksi ilmalihakseen. Kaiken kaikkiaan seitsemästä vaihtoehdosta otettiin jatkoon neljä toimilaitetta: solenoidi, voice coil, ilmalihas ja liitteen I toimilaite A.

Ilmalihasia ei tämän työn selvityksen perusteella ole laajalti käytössä pienikokoisissa syöttölaitteissa. Kuitenkin VCA:han nähden niillä on selkeä etu voimantuotossa. Feston pienin, ulkohalkaisijaltaan 7 mm:n ilmalihas pystyy vetämään jopa 140 Newtonin voi-

malla. Vastaavasti Moticontin 16 mm halkaisijan äänikelan voimantuotto 10 %:n käytösuhteella jää 5,6 Newtoniin. (Festo datalehti, Moticont datalehti) Yksi hankaluus ilmalihasten käytössä on mahdollisesti paineilman paineensäätimen ja venttiiliin sovittaminen syöttölaitteen runkoon. Mahdollisia haittapuolia ovat myös pakenevasta paineilmasta tuleva melu ja mahdolliset energiahäviöt ilmalihaksia käytettäessä.

Patenttiselvityksen avulla tutkittiin erilaisia jo olemassa olevia syöttölaitteita ja niiden rakenteita. Osa patentoiduista menetelmistä vaikuttivat varmatoimisilta, mutta joissakin laitteissa vaikuttaisi olevan mahdollisia luotettavuusongelmia. Kun syötettäviä osia siirretään hissimäisellä rakenteella tärytasolle, kuten Mitronin syöttölaittepatentissa (Kuva 34), pienet välykset syöttölaitteen osien välillä ovat välttämättömiä. Raot altistavat syötettävät komponentit kiilautumiselle ja sitä myöten ne voivat vaurioitua tai laite saattaa mennä tukkoon. Toinen mahdollinen ongelma syöttölaitteissa on holvautuminen. Jos syötettävät komponentit joutuvat kapenevaan rakoon, ne saattavat muodostaa holvikaarimaisen rakenteen ja tukkia syöttölaitteen. Holvautumista ja kiilautumista on havainnollistettu kuvassa 40. Holvautumisen ja kiilautumisen tunnistaminen on Wisematic Oy:n aiemmista syöttölaitesuunnitteluista kertynyttä tietoa.



Kuva 40: Holvautuminen ja kiilautuminen ovat mahdollisia ongelmia syöttölaitteissa. Vasemmalla syötettävät osat ovat muodostaneet holvikaaren (sinisellä). Oikealla hissintärytason reunan rako (sinisellä) altistaa osat kiilautumiselle.

Jotta suunniteltavasta syöttölaitteesta saataisiin mahdollisimman varmatoiminen, kaikki riskit osien holvautumiselle ja kiilautumiselle tulee minimoida. Suppilo- ja hissimäisiä rakenteita ja rakoja osien välillä tulee välttää.

Patenttiselvityksen kautta selvisi myös mahdollinen ratkaisu ainakin suppilomaisen holvautumisongelman estämiseksi. Monet tutkitut laitteet käyttävät kahta päällekkäistä tärytasoa. Näin suppiloita ja hissejä ei tarvita. Kyseinen rakenne on nähtävästi sekä Asyriin että Adeptin syöttölaitteissa, joilla on merkittävä kokoero. Kokoerosta voidaan päätellä, että kahden päällekkäisen tärytason rakenne on varsin skaalautuva.

3.1 Mahdollisesti toteuttavat ominaisuudet, joista on asiakkaalle lisäarvoa

Jotta tuote kävisi kaupaksi, sen tarvitsee tuottaa asiakkaalle arvoa ja täyttää jokin asiakkaan tarve. Onkin tärkeää pohtia ennen mekaniikkasuunnittelun yksityiskohtaisempaa aloittamista, olisiko mahdollista lisätä tuotteen asiakkaalle tuomaa arvoa yksinkertaisilla lisäominaisuuksilla tai toiminnollisuuksilla. Minifeeder 20:ssä on jo joitakin toiminnollisuuksia, joiden säilyttäminen olisi mahdollisuuksien mukaan kannattavaa. Tällaisia ominaisuuksia on mahdollisuus tyhjentää pienen tärylaitteen tärytaso syötettävistä komponenteista pikatyhjennystoiminnolla, jolloin tärytasolta tippuvat osat ohjataan pois kierrosta, eikä takaisin tärytasolle. Jos pikatyhjennystoiminnallisuus toteutetaan uuteen syöttölaitteeseen, sen toiminta täytyy suunnitella eri tavoin, sillä myös pikatyhjennysominaisuus perustuu samaan paineilmatoimimiseen systeemiin kuin osien kierrätys, eikä siis ole skaalautuva. Tärkeä ominaisuus, joka halutaan säilyttää, on mahdollisuus käyttää pitkälti samoja ohjauspuolen komponentteja vaadittavan ohjelmointityön minimoimiseksi.

Syöttölaitteen rakenteeseen voidaan mahdollisesti lisätä toiminnollisuuksia, joita asiakas arvostaa. Esimerkiksi jos ylempi tärytaso saadaan yhdistettyä komponenttisäiliöön, kuten liitteessä II, voitaisiin myös kokoonpantavan komponentin vaihdosta tehdä yksinkertainen toimenpide ja se saataisiin tehtyä kokoonpanorobotilla. Yksi mahdollisesti arvokas ominaisuus on osien kierrättäminen takaisin komponenttisäiliöön, mikä voi kuitenkin kahden tärytason mallissa olla haastava toteuttaa. Myös uudet keskenään keskustelevat laitteet mahdollistavat arvon kasvatuksen, jos syöttölaite saadaan sopimaan uusiin kommunikointistandardeihin ja saadaan itse viestimään häiriöistään langattomasti eteenpäin.

Pahl et al. (2007, s. 66) kertovat, että juuri asiakkaan tarpeiden muuttaminen tuotteen vaatimuksiksi QFD-menetelmää käyttäen on hyvin tärkeää. Selvitystyötä tärkeimmistä asiakkaan vaatimuksista on tehty suunniteltaessa yrityksen aiempia syöttölaitteita, eikä asiakasvaatimuksiin oteta siksi tässä työssä enempää kantaa.

3.2 Mekaniikkasuunnittelun pohjatyö

Kun pohjatietoa oltiin kerätty riittävästi ja vanhan syöttölaitteen toiminta oli hyvin tiedossa, saatiin uutta tietoa käyttäen luotua sivistyneitä arvioita uuden syöttölaitteen toiminnallisuudeksi.

3.2.1 Runko

Laite olisi selkeästi suunnattu teollisuuskäyttöön ja sen tulisi kestää tehtailla vuosia. Wi-semantic Oy:llä on runsaasti kokemusta koneistettavien osien suunnittelusta ja kokoonpa-

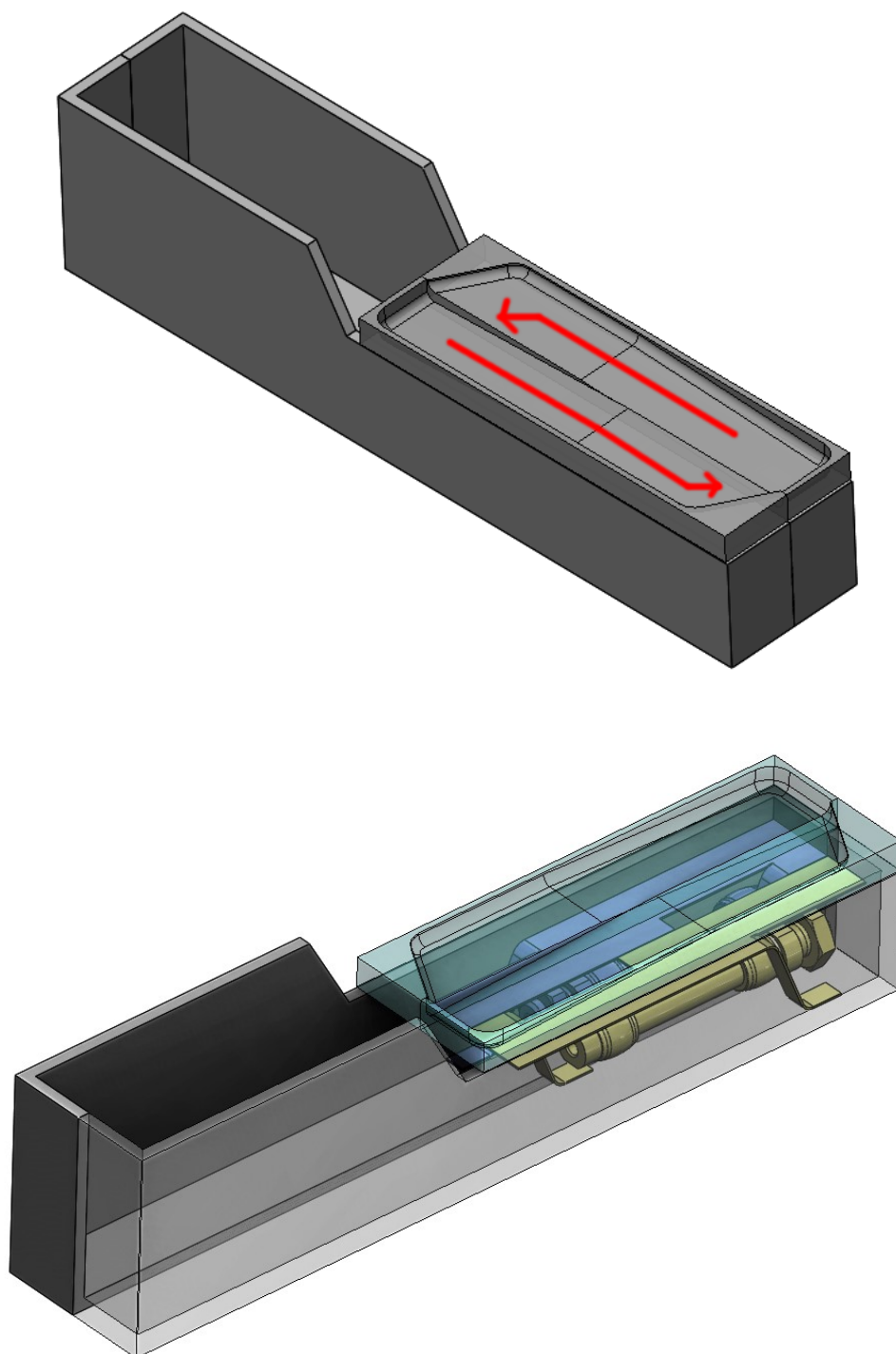
nosta, minkä takia runko päätettiin tehdä koneistamalla. Aiemmat syöttölaitteet ovat pääosin koneistettua, anodisotua alumiinia. Siitä syystä samaan materiaaliin ja viimeistelyyn päädyttiin myös tämän laitteen kanssa.

3.2.2 Tärytason materiaali ja toiminnallisuus

Tärytasosta pitäisi saada samalla tavoin taustavalaistu kuin aiemman Minifeeder 20:n tärytaso. Taso pitää olla läpikuultava taustavalaistuksen onnistumiseksi. Lasin koneistaminen on yksi vaihtoehto, mutta se on varsin kallis. Toinen, mahdollisesti edullisempi vaihtoehto, on käyttää jotakin kovaa läpikuultavaa ja koneistettavaa muovia. Tärytason materiaaliselvitys on yksi selkeä tämän työn jatkotutkimusta, vaikka Wisematic onkin tehnyt selvitystyötä sen saralla.

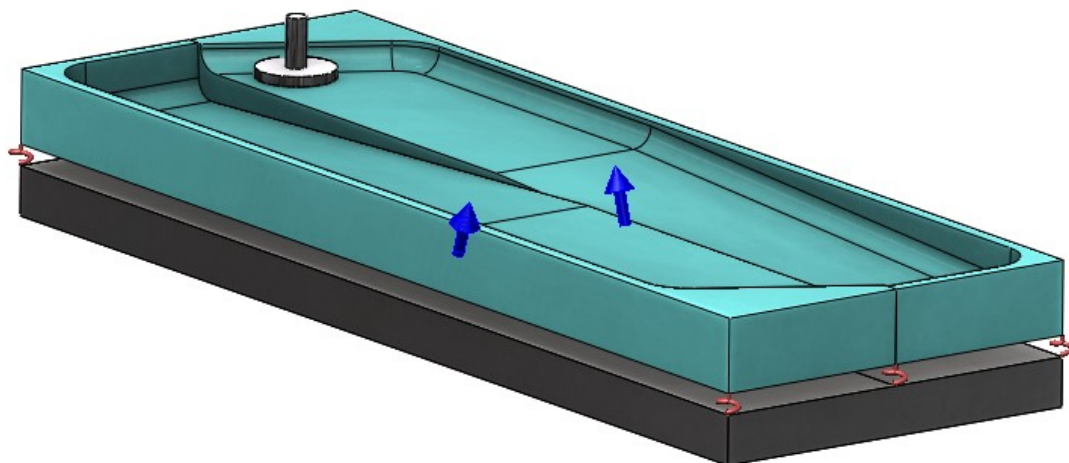
Minifeeder 20 kierrättää väärässä asennossa olevat osat takaisin tärytason alkupäähän käyttäen paineilmaa, joka samalla kääntää jonkin osuuden kierrätetyistä osista oikeaan asentoon. Jotta nyt suunniteltava syöttölaite pystyisi kääntämään osat oikeaan asentoon, tarvitaan siihen jokin toinen mekanismi. Vaihtoehtona on esimerkiksi kääntää väärässä asennossa olevat osat muilla keinoin, kuten kuvassa 36 esitellyn patentin ”vasaran” avulla.

Alla olevassa kuvassa on hahmoteltu kahden tärytason syöttölaitetta. Toimintaperiaatetta päätettiin testata, sillä kilpailijakartoituksen avulla huomattiin Weberin todenneen sen toimivaksi ruuvinsyöttölaitteessaan ja sen valmistamisessa voitaisiin käyttää edullisia yksitoimisia toimilaitteita. Tärytasot ovat niiden alkupäästä 3° vinossa ja kuljettavat osia ylöspäin, kunnes ne tippuvat alemmalle, toiseen suuntaan kuljettavalle tasolle, samalla vaihtaen asentoa. Osan kääntyminen sen tippuessa tasolta toiselle on olennaista, jotta robotilla olisi aina poimittavana oikeassa asennossa olevia osia. Kuvassa 41 alempana on värein merkitty sekä oikean että vasemman puolen ilmalihakset ja jousielementit.



Kuva 41: Jaetun tärytason hahmottelu. Tasot kuljettavat osia eri suuntiin ja osat kiertävät kahden tason välillä, vaihtaen asentoa aina pudotessaan toiselle tasolle.

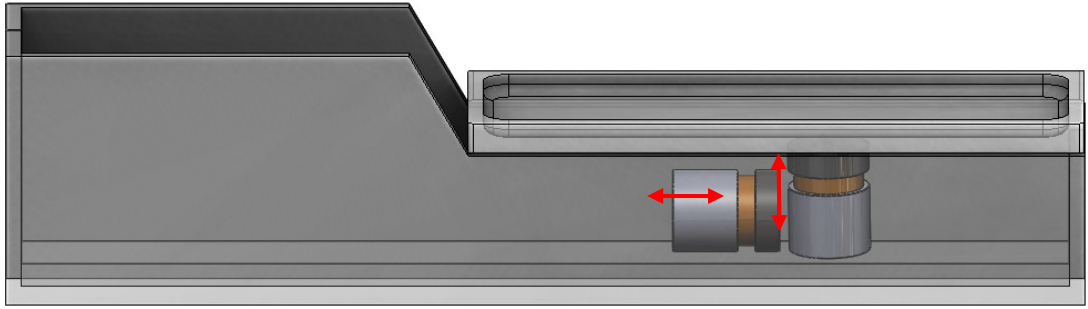
Jotta vierekkäisten tärytason toiminnasta saataisiin karkea kuva, rakennettiin Solidworks-ohjelmiston Motion Analysis-työkalun avulla simulaatio tilanteesta. Simulaatiossa käytetty malli nähdään alla kuvassa 42.



Kuva 42: Solidworks Motion Analysis -simulaatiossa käytetty malli kahden tärytason syöttölaitteesta.

Kuvan kaksi turkoosia tärytasoa on kiinnitetty simulaatiossa nurkistaan kiinteään pohja-levyyn (harmaa) kierrejousilla. Siniset nuolet kuvaavat tärytasoihin kohdistuvia, simuloinnissa harmonisia voimia. Tärytasolle on mallinnettu kappale, jonka avulla tasolta toiselle pudotusta voitiin tarkastella. Jotta osa vaihtaisi luotettavasti asentoa pudotessaan tasolta toiselle, se vaatisi suuremman pudotuksen kuin mallinnettu 2,5 mm. Kuitenkaan tärytason dimensioita ei haluta liiaksi kasvattaa. Toinen heikko puoli kahden vierekkäisen tärytason mallissa on tärytasojen kaltevuus: vaakataso suuntainen poimintataso soveltuisi kokoonpanoroboteille paremmin. Tasaista osuutta yllä olevan kuvan mukaisessa tärytasossa olisi rajoitetusti. Näistä syistä kahden vierekkäisen tärytason laite hylättiin ja suunnittelutyötä jatkettiin kahden päällekkäisen tärytason mallilla.

Alla kuvassa on hahmoteltu kahden VCA:n tärytaso. Kahta voice coilia käytettäessä saataisiin syöttölaitteen tärystä joustavampi: kahta kohtisuoraan toisiaan vasten olevaa toimilaitetta voidaan kumpaakin ohjata yksittäin, ja tärytasolla kulkevia osia voidaan siten ohjata kumpaankin suuntaan muuttamalla toimilaitteiden iskun summavektorin suuntaa ja pituutta. Toimiakseen kahden peräkkäisen tärytason malli vaatii kaksitoimisen toimilaitteen. Vaikka ilmalihakset ja solenoidit ovat hinnaltaan kilpailukykyisiä VCA:han nähden, niiden yksitoimisuus estää niiden käytön kuvan 43 täryssä. Yksitoimisuus on hylkäysperuste myös liitteen I toimilaitteelle A.



Kuva 43: Kaksi VCA:ta pystyisivät tärisyttämään tärytasoa mihin tahansa suuntaan nuolilla merkityssä tasossa.

Yllä kuvatussa laitteessa ei ole mekanisme osien kääntämiseksi oikein päin. Ilmeisen toimiva vaihtoehto osien kääntämiseksi on tärytason iskeminen alta kuten kuvan 36 patentissa. Syöttölaite voisi esimerkiksi ajaa kaikki osat tärytason toiseen päähän, iskeä tärytason päätä iskurilla kääntäen osan osista, ja levittää osat uudelleen tärytasolle robotin poimittavaksi. On myös mahdollista, että voice coilin teho riittää sellaisenaan osan kääntämiseksi eikä erillistä iskuria tarvita.

Kahden päällekkäisen tärytason malli todettiin toiminnaltaan varmemmaksi, kuin vierekkäisten tärytasojen malli ja syöttölaitteen kehitystä jatkettiin sen mukaan. Ylempi tärytaso toimii varastotasona ja alempi levittää komponentit robotin poimittavaksi. Ilmalihaksen käyttö poimintaan käytettävässä tärytasossa täytyi hylätä, mutta se on todennäköisesti oikea vaihtoehto ylemmän varastotason tärisyttämiseen: varastotason tärisytettävä massa on suurempi ja osia tarvitsee kuljettaa sillä vain yhteen suuntaan, joten yksitoiminen toimilaite on riittävä.

3.2.3 Toimilaitteiden mitoitus

Tärytason kannattaa olla vaakatason suuntainen robotin poiminnan kannalta. Koska tärytason kaltevuus θ on 0° , Boothroydin kaavat voidaan kirjoittaa muotoon

$$m_p a_0 \omega^2 \cos \Psi > F \quad (14)$$

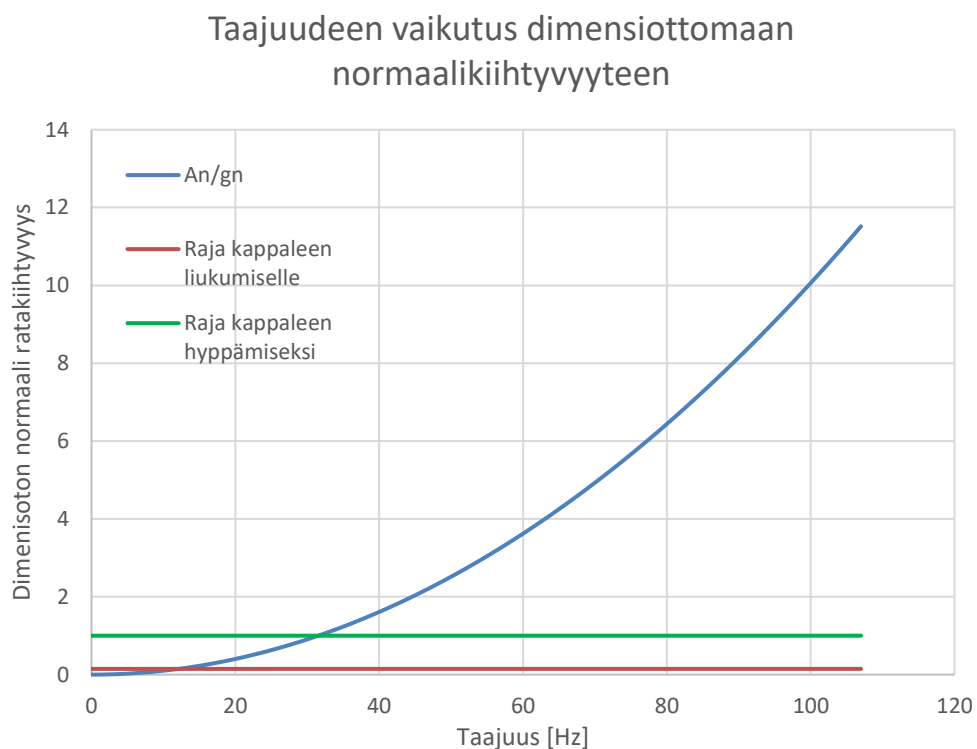
ja

$$F = \mu_s N = \mu_s [m_p g - m_p a_0 \omega^2 \sin \Psi]. \quad (15)$$

Kun kaavat 14 ja 15 yhdistetään, saadaan ehto kappaleen etenemiseksi tasolla:

$$\frac{a_0 \omega^2}{g} > \frac{\mu_s}{\cos \Psi + \mu_s \sin \Psi}. \quad (16)$$

Jotta toimilaitteet ja jouset saataisiin mitoitettua yllä olevan kaavan avulla, täytyi osa muuttujista selvittää. Koska muuttujia on monia, muuttujista lyötiin laskentaa varten lukkoon tärytason ja syötettävän kappaleen välinen kitkakerroin, tärinän amplitudi ja voiman ja tärytason välinen kulma. Voiman syötön kulmaksi valittiin 30° tärytasoon nähden perustuen Boothroydin selvitystyöhön. Kappaleen ja tärytason väliseksi kitkakertoimeksi arvioitiin 0,3, mikä on lähellä useaa muovi-teräs -paria (Ludema 1996, s. 29). Tärinän amplitudiksi arvioitiin 0,5 mm. Kyseisillä arvoilla piirrettiin kuvaaja normaalista rata- kiihtyvyydestä taajuuden funktiona. Kuvaajaan merkittiin myös suorat $\frac{\mu_s}{\cos\psi + \mu_s \sin\psi} = 0,148$ ja $\frac{A_n}{g_n} = 1,0$, joista ensimmäinen kertoo rajan, jossa kappaleet alkavat liikkua tärytasolla ja jälkimmäinen kertoo rajan kappaleiden hyppäämiseksi ilmaan.



Kuva 44: Taajuuden kasvaessa n. 30 Hertsin yli, osat alkavat liikkua tärytasolla hyppimällä eteenpäin.

Kuvan 14 mukaisesti nähdään, että syöttönopeuden parantamiseksi taajuus tulee laskea niin alas, kuin se helposti onnistuu. Kuvasta 44 nähdään, että riittävä taajuus käytetyillä lähtöarvoilla on hieman alle 40 Hz – vielä tällöin kappale liikkuu pomppimalla eteenpäin.

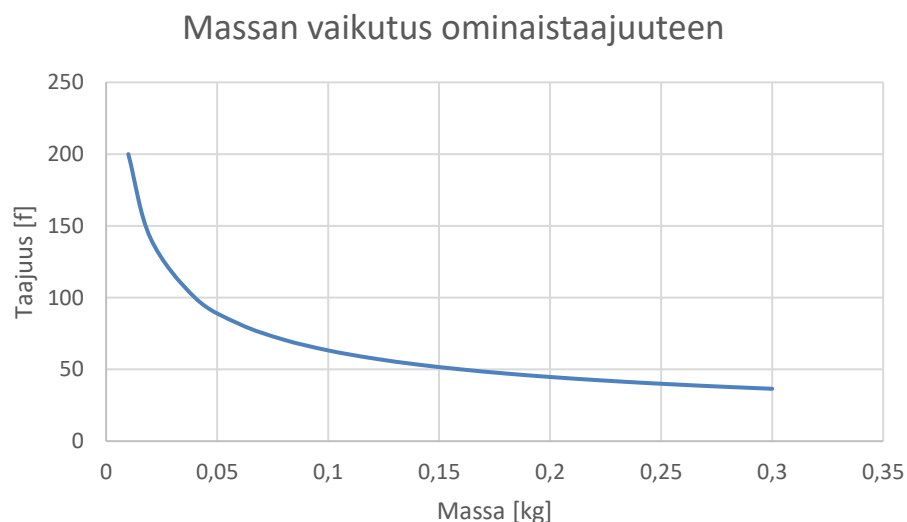
Laskentaa monimutkaistaa hieman massan vaikutus tärinään. Boothroydin kaavat ovat varsin teoreettisia eivätkä ota kantaa siihen, millä voima tuotetaan tai minkälaiset jouset kuorman kantavat. Mendelsohn (2004) on koostanut värähtelyyn liittyen kaavoja, joiden avulla saadaan laskettua massan vaikutus värähtelyyn. Kaavasta 17 nähdään, että harmonisen värähtelijän taajuuteen vaikuttaa suoraan käytettävän jousen jousivakio:

$$\omega_{om} = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (17)$$

jossa ω_{om} on ominaisvärähtelyn kulmanopeus, k on jousen jousivakio ja m on jousen liikuttama massa (Mendelsohn s. 3, 2004). Jouset ja tärytoimilaite kannattaa mitoittaa niin, että tärytason ollessa täysi toimilaite jaksaa vielä tärisyttää kappaleita eteenpäin niin, että osat hyppivät tasolla. Raja-arvoa taajuudelle voidaan pitää kuvasta 44 saatavaa 40 Hertsin lukemaa. Tärytasolla maksimissaan oleva massa olkoon laskennassa 250 grammaa, joka vastaa 30:tä 5 gramman painoista komponenttia ja 100 gramman painoista tärytason muuta mekaniikkaa. Niiden tärisyttämiseksi 40 Hertsin taajuudella jousivakio saadaan kaavan

$$k = (2\pi f)^2 m \quad (18)$$

avulla, sillä $\omega_{om} = 2\pi f$ (Mendelsohn 2004, s. 3). Kun kaavaan sijoitetaan taajuus f ja massa m , saadaan jousivakioksi $k = 15,8 \text{ N/mm}$. Tärytason jousivakiota voidaan approksimoida FEM-laskennalla suoraan suunniteltavan laitteen 3D-mallista mekaniikka-suunnittelun edetessä. Kun jousivakion arvo on tiedossa, voidaan tutkia värähtelyn taajuutta täryllä olevan massan funktiona. Korrelaatiota on havainnollistettu kuvassa alla.



Kuva 45: Tärytettävän massan kasvaessa ominaistajuus pienenee.

Vaadittava voima tärytason siirtämiseksi voidaan laskea kaavalla

$$F = -kx, \quad (19)$$

jossa x on haluttu tärytason siirtymä. 8 Newtonin voima riittää tärytason siirtämiseksi puolen millin verran. Voima pätee vain tärytason siirtämiseen, eikä sitä voida suoraan

käyttää apuna tärytoimilaitteen valinnassa, sillä todellinen tilanne vastaa pakotettua värähtelyä. Pakotetun värähtelyn kaavalla

$$x = \frac{F_0/k}{1 - (\frac{\Omega}{\omega})^2} \sin \Omega t \quad (20)$$

voidaan approksimoida tärytoimilaitteen voimantuotontarvetta. Kaavassa F_0 on ulkoa systeemin tuotava voima, k on jousivakio, Ω ulkoisesti tuotavan voiman taajuus, t aika ja x tärytason siirtymä. (Leissa 2004, s. 2) Siirtymän ja jousivakion arvoina voidaan käyttää aiemmin saatuja tuloksia. Ulkoisesti tuotavalle voimalle kriteerinä on sen taajuuden minimiarvo 40 Hertsiä. Käytännössä se kannattaa valita mahdollisimman läheltä ominaisvärähtelytaajuutta, jolloin tärytaso resonoi ulkoisesti tuotavan voiman kanssa ja energiaa tärisyttämiseen tarvitaan vähemmän. (Leissa 2004, s. 3) Pienempi energiantarve pienentää myös laitteen turvallisuuteen liittyviä riskejä (SFS-ISO/TR 14121-2 2013, s. 44). Kaavasta 20 voidaan nähdä, että kun Ω ja ω ovat lähellä toisiaan, värähtelyn suuruus lähestyy ääretöntä.

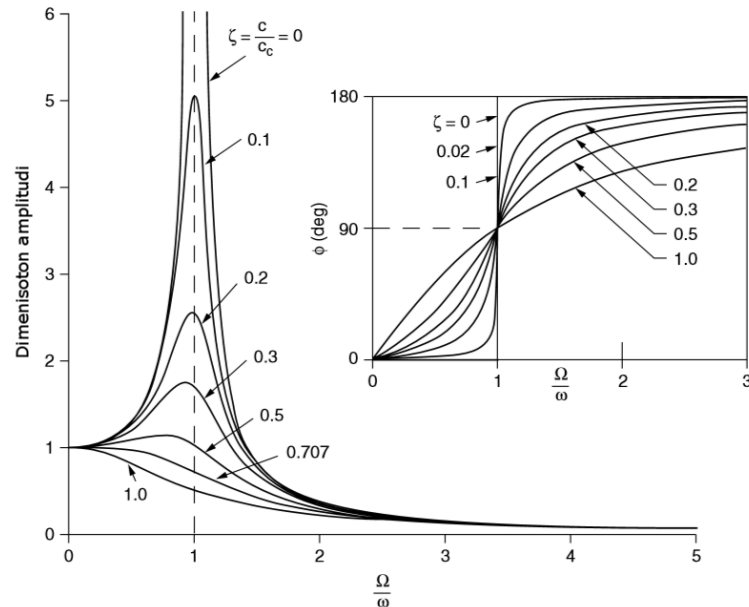
Kuvaajassa 46 alla on piirretty vaimentamattoman tärytason siirtymä ajan funktiona kaavan 20 mukaan. Koska tärytasoa harvoin pidetään aivan täytenä, laskennassa käytettiin aiemman 250 gramman massan sijasta 150 gramman massaa vastaavaa ominaiskulmanopeutta $\omega = 50$, joka voidaan lukea kuvasta 45.



Kuva 46: Kuvaaja vaimentamattoman tärytason poikkeamasta ajan funktiona.

Kuvaaja on piirretty arvoilla $F_0 = 2N$, $\Omega = 55 \text{ Hz}$, jolloin tärytason amplitudi on n. 0,5 mm. Mitä lähemmäs pakotetun värähtelyn taajuus tuodaan ominaisvärähtelytaajuutta, sitä suurempi on värähtelyn amplitudi. Vastaavasti yhtä suuren amplitudin luomiseksi riittää pienempi voima, kun ollaan lähellä resonointitilannetta. Pakotetun värähtelyn kuvaajasta voidaan päätellä, että tärytoimilaitteen hyvä ominaisuus on sen laaja taajuuden säätö, jolloin tärytasoa voidaan tärisyttää lähellä sen ominaistaajuutta. Todellisuudessa

mekaanisissa järjestelmissä on aina vaimennusta, joka rajoittaa värähtelyä. (Leissa 2004, s. 2-3) Vaimennusta on havainnollistettu kuvaajassa 47.



Kuva 47: Pakotetun värähtelyn suhde ominaisvärähtelytaajuuteen eri voimakkuuksien vaimennetussa värähtelyssä. Vaimentamattomassa (zeta=0) amplitudi kasvaa äärettömästi kun $\frac{\Omega}{\omega}$ lähestyy yhtä. (Mukaiillen Leissa 2004, s. 3)

Vaimennuksen suuruutta on vaikea arvioida ilman tarkempaa mekaniikkasuunnitelmaa, joten sen vaikutus on tässä jätetty käsittelemättä. Tässä esitettyjä laskelmia ja kaavoja voidaan käyttää ja soveltaa tärysyöttölaitteen mekaniikkasuunnittelussa ja kaavoja voidaan tarkentaa vaimennuksen osalta mekaniikkasuunnittelun myötä. Yksityiskohtaisempi mekaniikkasuunnittelu ei kuitenkaan kuulu tämän työn piiriin.

3.3 Muu toiminnallisuus ja integrointi

Minifeeder 20 on ollut käytössä useita vuosia. Sen kehittämisen jälkeen laitteiden välinen kommunikointi on yleistynyt, mikä tulee huomioida uuden syöttölaitteen ohjausjärjestelmää suunnitellessa. Dataa laitteen toiminnasta kannattaa kerätä, jotta sitä voidaan hyödyntää mahdollisissa muissa suunnitteluprojekteissa.

Minifeeder 20:n ohjaus on toteutettu teollisuus-PC:llä. Uuden syöttölaitteen ohjauksen logiikaksi kannattaa valita samalta valmistajalta samantapainen järjestelmä, mutta modernisoituna niin, että langaton viestintä syöttölaitteen toiminnasta on mahdollista operaattorille ja muille laitteille. Saman valmistajan tuotteiden käyttöä puoltaa myös se, että konenäköjärjestelmän ohjelmistot saadaan toimimaan pienemmällä vaivalla myös tule-

vien syöttölaitteiden kanssa. Yksi selkeä lisätutkimuksen aihe onkin se, mitä kaikkea laitteiden tulee pystyä toistensa kanssa viestimään ja mitkä ovat viestinnässä käytettävät standardit.

3.4 Turvallisuus

Laitteelle tehtiin alustava turvallisuustarkastelu tarkastuslistamenetelmällä turvallisuuden perusstandardin ISO 12100:2010 mukaan. Kyseinen standardin avulla suunnittelija löytää peruskäsitteet, määritelmät ja menetelmät turvallisen koneen luomiseksi. Standardin mukaan koneen käyttöön liittyvät riskit tulee listata ja arvioida niiden vakavuuden perusteella. Riskeihin tulee lukea mukaan myös kohtuudella ennakoitavissa olevan väärinkäytön aiheuttamat riskit. Riskien pienentäminen tulee tarvittaessa olla iteratiivinen prosessi, jotta riski saadaan pienennettyä pienimmälle mahdolliselle tasolle. (SFS-EN ISO 12100 s. 28, 2010). Riskin arvioinnissa käytettiin standardia ”SFS-ISO/TR 1412-2 Koneturvallisuus, riskin arviointi. Osa 2: käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä”. Erityisesti käytettiin kyseisen standardin kohdan 6.3.3 matriisia riskikertoimen laskemiseksi.

Riskejä nähtiin ainakin mahdollisessa sormen puristumisessa tärytason väliin joko huolto tai asennusvaiheessa. Lisäksi kokoonpanossa käsitellään mahdollisesti ohuita ja teräviä jousia, jotka voivat viiltää kokoonpanijaa. On myös mahdollista, että tärytason väliin kiihlautuu komponentti, joka sinkoutuu pois laitteesta. Jousen terävien reunoja tulee siis suunniteltaessa välttää; samoin mahdollisia tärytason välejä, joihin syötettävä komponentti voi jäädä jumiin. Turvallisuustarkasteluun liittyvä riskien arviointi on nähtävissä liitteessä III.

4. TULOKSET

Työn tuloksena saatiin kuva kokoonpanoautomaation nykytilasta ja sen kehityksen suunnasta. Tuotannon joustavuus on yhä kasvussa ja se näkyy niin kokoonpanossa käytettävissä toimilaitteissa kuin hankkeissa, jotka tähtäävät automaattisesti mukautuviin valmistus- ja kokoonpanojärjestelmiin. Tulevaisuudessa kokoonpanossa käytettävät toimilaitteet viestivät yhä enemmän suoraan toistensa kanssa ja CPS mahdollistaa yhä joustavamman tuotannon.

Soveltamalla kirjallisuuskatsauksessa kertynyttä teoriaa saatiin varsin kattava lista vaatimuksia syöttölaitteelle:

- Tärytason tulee olla läpikuultava tai läpinäkyvä taustaväläytteen onnistumiseksi
- Tärytason tulee olla vaakatasossa, jotta robotti pystyy poimimaan asennettavat komponentit.
- Tärytason pinnan ja syötettävän kappaleen välinen kitkakerroin tulee maksimoida syötön tehostamiseksi.
- Laitteen taajuus tulee olla niin alhainen, kuin se käytännössä onnistuu, mutta sen tulee kuitenkin olla niin korkea, että osat kulkevat tärytasolla pomppien eteenpäin.
- Tärymekaniikan komponentit tulee valita niin, että laitteen ominaistajuus on mahdollisimman lähellä edellä mainittua taajuutta.
- Tulevaisuutta ajatellen tärylaitteen tulee pystyä raportoimaan tilastaan langattomasti.

Yhdistämällä simuloinnissa saatua tietoa, kirjallisuuskatsauksen teoriaa ja Pahl et al. mukaan tehtyä tärytoimilaitteiden arviointia saadaan toimivaksi rakenteeksi seuraava:

- Tärytoimilaitteessa tulee olla kaksi peräkkäistä tärytasoa, joista ensimmäinen tärytaso toimii varastotasona ja jälkimmäinen tärytasona/poimintatasona.
- Varastotason tärisyttämiseksi valitaan ilmalihaksen suuren voimantuoton takia.
- Tärytason tärisyttämiseksi valitaan VCA sen kaksitoimisuuden vuoksi.
- Komponenttien kääntö tärytasolla toteutetaan iskemällä tärytasoa alta erillisellä toimilaitteella.
- Kiilautumisen ja holvautumisen välttämiseksi hissi- ja suppilomaisia rakenteita tulee välttää

Turvallisuustarkastelusta saatiin laitteelle lisävaatimuksia:

- Laite tulee suunnitella siten, ettei siihen jää sormien mentäviä rakoja liikkuvien osien ja rungon väliin.
- Laitteeseen ei saa jäädä rakoja, joihin osa voi kiilautua ja singota pois laitteesta.

Työn tuloksena saatiin myös sovellettavat kaavat erikokoisten syöttölaitteiden suunnittelun tueksi. Kaavat eivät ota huomioon tärytason luontaista vaimennusta, mutta niitä voidaan tarkentaa mekaniikkasuunnittelun edetessä. Työn tuloksena saadun vaatimuslistan avulla voidaan aloittaa tuotteen tarkempi mekaniikkasuunnittelu.

5. YHTEENVETO

Työssä tutkittiin mahdollisia ratkaisuja joustavan ja skaalattavan syöttölaitteen toiminnallisuudeksi ja tuloksena saatiin teoriaosuuden soveltamisen myötä lista vaatimuksista syöttölaitteelle ja konkreettinen ehdotus tuotteen toiminnallisuudeksi. Tuotteen vaatimuksia saatiin määriteltyä useiden erilaisten näkökantojen kautta.

Tutkittaessa kokoonpanoteollisuuden nykytilaa saatiin tietoa tulvaisuuden langattomista toiminnollisuuksista ja automaattisesti mukautuvista järjestelmistä. Kokoonpanosolun toimilaitteita kartoittaessa saatiin vaatimuksia syöttölaitteen rakenteelle, ja kilpailijakartoituksen ja simuloinnin perusteella pystyttiin tekemään perusteltu valinta syöttölaitteen mekaaniselle toiminnalle. Konedirektiivin soveltaminen toi luonnollisesti oma vaatimuksensa tuotteelle.

Vaikka tietoa saatiin kerättyä työtä tehdessä melko paljon, selvisi sen myötä myös lisätutkimuksen aiheita. Jatkotutkimusta tarvitsee tehdä ainakin syöttölaitteen ja muun järjestelmän rajapinnasta:

- Mitä tietoa kyberfyysiset järjestelmät vaativat syöttölaitteelta, jotta syöttölaite saadaan osaksi järjestelmää?
- Mitä kaikkea lisäarvoa yksittäisten laitteiden verkostot ja IoT mahdollistavat asiakkaalle?

Lisäksi lisätietoa tarvitaan syöttölaitteen mekaniikkaan liittyen:

- Mikä on paras vaihtoehto tärytason materiaaliksi? Lasi vai jokin polymeeri?
- Nyt suunniteltu syöttölaite on skaalattavissa. Mikä kokoero syöttölaiteperheen eri laitteille on järkevä? Kuinka suuri osa syötettävistä komponenteista voidaan katata yksittäisellä syöttölaitteella?

Työ onnistui määrittelemään skaalautuvan ja joustavan syöttölaitteen rakenteen, mutta ei suunnitellulla rakenteella joistakin aiempien syöttölaitteen ominaisuuksista joudutaan luopumaan. Ainakin pikatyhjennystoiminto syötettävien komponenttien vaihdon nopeuttamiseksi on suunniteltuun rakenteeseen hankala toteuttaa.

Joitakin riskejä suunniteltuun ratkaisuun liittyy. Yrityksen aiempien syöttölaitteiden tärytaso pystyi urineen kääntämään väärässä asennossa olevat osat. Esimerkiksi T-mallinen osa saatiin poimittua robotilla tärytasolta, kun T:n pystysakara roikkui tärytason urassa. Jos syötettävän komponentin väärä sakara roikkui urassa, se yksinkertaisesti jäi poimimatta ja palautettiin tärytason alkupäähän. Vielä ei tiedetä voidaanko vastaavaa systeemiä soveltaa uuden syöttölaitteen rakenteeseen, sillä kääntömekanismin tarpeellisuus ja mekanismi osien asennon vaihtamiseksi vaatii lisätutkimusta.

LÄHTEET

Aho, H., Hastrup, N., Hellgren, R., Hoikkala, A., Karppinen, O., Komulainen, M., Laakso, T., Mustamäki, S., Niemensivu, J., Niinimäki, P., Partanen, J., Piirilä, O., Rainio, A., Salmela, A., Sievänen, O., Tammi, T. & Vuorela, J. (2017). PATENTTIKÄSIKIRJA, Patentti- ja rekisterihallitus, Helsinki.

Adept (2011), Adept Anyfeeder User's Guide. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): http://www1.adept.com/main/KE/DATA/Robot/AnyFeeder/AnyFeeder_UG.pdf

Asyryl SA, Asycube 50, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): https://www.asyryl.com/en/products/asycube-flexible-feeders.html#asycube_80

Batchelor, B. (2012). Machine Vision for Industrial Applications, in: Machine Vision Handbook, Springer, London, ss. 1-59.

Beyerer, J., Puente León, F. & Frese, C. (2016). Machine Vision - Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications, Springer, Berlin, 802 s.

Boothroyd, G. (2005). Assembly Automation and Product Design, Second Edition, Second Edition ed., CRC Press, Boca Raton, 501 s.

Buchi, F., Transport of bulk material items, 0199470 A1, (15.9.2005).

Buchi, F., Nesnas, I., Carlisle, B., Impulse-based, flexible parts feeder, US 6056108 A, (17.5.1997).

Carlisle, B. & Alto, P., Flexible parts feeder, US 5687831, (18.11.1995).

Chryssolouris, G. (2005). Manufacturing Systems: Theory and Practice, Springer, New York.

Collins, D. Voice coil actuator basics, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 16.2.2017): <http://www.linearmotiontips.com/voice-coil-actuator-basics/>.

Crowson, R. & Walker, J. (2006). Product Design and Factory Development, CRC Press, Boca Raton, 382 s.

Erkoyuncu, J., Tsarouchi, P., Makris, S., Michalos, G., Matthaiakis, A., Chatzigeorgiou, X., Athanasatos, A., Stefanos, M., Aivaliotis, P. & Chryssolouris, G. (2015). CIRPe 2015 - Understanding the life cycle implications of manufacturing ROS Based Coordination of Human Robot Cooperative Assembly Tasks-An Industrial Case Study, Procedia CIRP, Vol. 37 ss. 254-259.

Euroopan komissio - yritys- ja teollisuustoiminta (2010). Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas, 2nd ed., 415 s.

Feldmann, K., Slama, S., Highly flexible Assembly – Scope and Justification (2001). ss. 489-498.

Festo AG FlexShapeGripper - Gripping modelled on a chameleon's tongue, ss. 14.11.2017. https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/367915/Festo_FlexShape-Gripper_en.pdf.

Festo Pneumatischer Muskel – Fluidic Muscle, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 20.4.2017): https://www.festo.com/cms/de_de/16183.htm.

Festo Suction gripper ESG, oval, Festo Group, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 11.1.2017): https://www.festo.com/cat/fi_fi/products_ESG_O.

Fluidic Muscle DMSP/MAS (2016). Saatavissa (viitattu 20.4.2017): https://www.festo.com/cat/fi_fi/data/doc_engb/PDF/EN/DMSP-MAS_EN.PDF

Geeplus Vibration Actuator, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 18.5.2017): <http://www.geeplus.biz/FTPROOT/VIBRO1.pdf>.

Gretsch, C. & Ryser, O., Parts feed device, US6598730 B1, (29.7.2003).

H. Lakhlef, M. Raynal & J. Bourgeois (2016). Efficient Broadcast Protocol for the Internet of Things, 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), ss. 998-1005.

Modelling Capabilities for Functional Configuration of Part Feeding Equipment (2017). in: 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy, ss. 2051-2060.

Järvenpää, E., Heikkilä, R. & Tuokko, R. (2009). Logistic and Control Aspects for Flexible and Reactive Micro and Desktop Assembly at the Factory Level, 2009 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, ss. 171.

Innovative control of assembly systems and lines (2017). ControlRoboticsCloud technology, ss. 707-730.

KUKA Roboter GmbH KUKA Sensitive robotics - LBR iiwa, ss. 18 Saatavissa (viitattu 16.11.2017): https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_lbr_iiwa_brochure_en.pdf.

Kurfess, T. (2005). Robotics and Automation Handbook, CRC Press, Boca Raton, 550 s.

Leissa, A. (2004). Forced Vibrations, in: The Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press, Boca Raton.

Loy, M. & Reinhart, G. (2010). Design of a modular feeder for optimal operating performance, ss. 191.

Loy, M. & Reinhart, G. (2010). A new modular feeding system and its economic scope of application, in: Springer, ss. 357.

Luc Laperriere, G.R. (2016). CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Springer Link, Berlin, 1318 s.

Ludema, K. (1996). Friction, in: Friction, Wear, Lubrication, CRC Press, Boca Raton.

MacDougall, W. (2014). Industrie 4.0 - Smart manufacture for the future.

McNamara, J. What's The Difference Between Voice Coil Actuators And Solenoids?, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 9.2.2017): <http://electronicdesign.com/components/what-s-difference-between-voice-coil-actuators-and-solenoids>.

Mendelsohn, D. (2004). Free vibration, natural frequencies, and Mode Shapes, in: The Engineering Handbook, CRC Press, Boca Raton.

MengChu Zhou, N.W. (2009). System Modeling and Control with Resource-Oriented Petri Nets, ss. 267.

Merriam Webster Dictionary, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 16.6.2016): <http://www.merriam-webster.com>.

Merz, H., Hansemann, T. & Hübner, C. (ed.). 2009. Introduction to Building Automation. Berlin, Springer. 25 s.

Michniewicz, J. & Reinhart, G. (2016). Cyber-Physical-Robotics – Modelling of modular robot cells for automated planning and execution of assembly tasks, Mechatronics, Vol. 34 ss. 170-180.

Mikron Polyfeed, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): <http://www.mikron.com/automation-solutions/platforms-systems/feeding-systems/mikron-polyfeed/>.

Moticont Linear voice coil motor - LVCM-016-013-01, ss. 19.11.2017. <http://www.moticont.com/pdf/lvcm-016-013-01.pdf>.

Nagurka, M. & Kurfess, T. (2005). Robots and controls, in: The Engineering Handbook, Second Edition, CRCnetbase, Boca Raton.

National Instruments (2017). A Practical Guide to Machine Vision Lighting.

Omron Adept Technologies, Inc., Application Products - Intelligent Packaging and Part Feeding Equipment, Internet-sivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): <http://www.adept.com/products/application-products/anyfeeder/feeder/general>

Perroud, S., Hafner, T & Mussard, Y., System for supplying components, US20110284344 A1, (24.11.2011).

Physik Instrumente Ltd Uk P-88x.x5 Encapsulated PICMA® Stack Piezo Actuators, Physik Instrumente Ltd Uk, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 25.11.2017): <https://www.physikinstrumente.co.uk/en/products/piezoceramic-actuators/linear-actuators/p-88xx5-encapsulated-picma-stack-piezo-actuators-100805/>.

Physik instrumente Ltd Uk (2017). PZ266E P-88x.x5 Piezo Actuator User Manual, ss. 25.11.2017. <https://www.physikinstrumente.co.uk/en/?type=5600&downloadUid=4679&downloadFileUid=2760>.

Precision Microdrives Linear Resonant Actuators - LRAs, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 2.2.2017): <https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors/linear-resonant-actuators-lras>.

Reinhart, G., Hüttner, S. & Krug, S. (2011). Automatic Configuration of Robot Systems - Upward and Downward Integration, in: Jeschke, S., Liu, H. & Schilberg, D. (ed.), Intelligent Robotics and Applications: 4th International Conference, ICIRA 2011, Aachen, Germany, December 6-8, 2011, Proceedings, Part I, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, ss. 102-111.

Rosati, G., Minto, S. & Oscari, F. (2017). Design and construction of a variable-aperture gripper for flexible automated assembly, ss. 157-166.

Schunk GmbH & Co. KG, 4-Finger-Greifer, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 1.18.2017): http://de.schunk.com/de_de/greifsysteme/category/greifsysteme/schunk-greifer/4-finger-greifer/.

Shuuichi, N. & Tetsuyuki, K., Piezoelectricity-driven part feeder, EP1714922 A2, (25.10.2006).

Solentec D - Frame Solenoid SD0629, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 9.2.2017): <http://www.solenoids.co.uk/closedframe/SD0629.pdf>.

Speck, J. (2015). Mechanical Fastening, Joining, and Assembly, CRC Press, Boca Raton, 360 s.

Suomen Standardisoimisliitto - SFS (2010). SFS-EN ISO 12100 - Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen, ss. 174.

Suomen Standardisoimisliitto - SFS (2013). SFS-ISO/TR 1412-2 Koneturvallisuus, riskin arviointi. Osa 2: käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä, ss. 80.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry Koneturvallisuuden standardit, ss. 12 Saatavissa (viitattu 16.11.2017): <https://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusesite2015web.pdf>.

The Cleveland Vibrator Company VM - Miniature Air Piston Vibrators, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 18.5.2017): <https://www.clevelandvibrator.com/Product/34/1065/vm-25.aspx>.

Työsuojeluhallinto (2008). Koneturvallisuus - koneiden tekniset vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.

Uusitalo, J. & Viinikainen, H., Feeding device for small part, US2006/0278498 A1, 10/555,695, (5.5.2013).

WEBER Screwdriving Systems Inc, Saatavissa (viitattu 22.3.2017): <http://www.weberusa.com/feeding-systems/micro-piezo-inline-feeder-zep090/>.

WEBER facts, WEBER Schraubautomaten GmbH, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): <https://www.weber-online.com/en/weber-facts/>.

Whitney, D. (2004). Mechanical Assemblies, Oxford University Press, New York, 573 s.

Wilson, A. Choosing optics for machine vision, Vision systems, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 26.10.2017): <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-5/issue-11/features/product-focus/choosing-optics-for-machine-vision.html>.

Wilson, M. (2015). Implementation of Robot Systems, Elsevier, Amsterdam, 229 s.

Wisematic Oy, Osien syöttö ja käsittely, internet-sivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2017): http://wisematic.com/products/part_feeding_and_handling_FI.xhtml.

LIITE I: VALMIIT TÄRYTOIMILAITTEET

Toimilaite A:

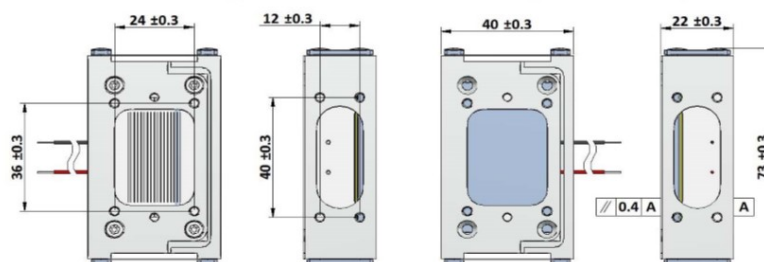
Wisematic Oy on tehnyt testejä muutamalla valmiilla tärykomponentilla. Valmiita komponentteja on testattu Geetech ja Cleveland Vibratros -nimisten yritysten valikoimista. Cleveland Vibrators valmistaa kuljettimia, mutta tarjoaa niiden lisäksi erilaisia, lähinnä paineilmakäyttöisiä, tärykomponentteja. (Clevelandvibrator.com, 2017) Paineilmatäryistä on testattu Minifeeder 20:tä suunnitellussa toimilaitetta VM-25, joka nähdään kuvassa alla. Minifeeder 20:en tärylaite oli hieman liian tehokas, mutta voisi olla sopiva nyt suunnitteilla olevaan MF40:en. VM-25 on 5,5 cm pitkä ja 1,6 cm leveä ja olisi siten kokonsa puolesta sopiva. Huono puoli VM-25:ssä on se, että sitä käytettäessä tärytasoa voidaan tärisyttää vain yhteen suuntaan. Lisäksi tulevaisuudessa suunniteltavien tärylaitteiden suunnittelu saattaa rajoittua Cleveland Vibrator -yrityksen tuotteiden mukaan.



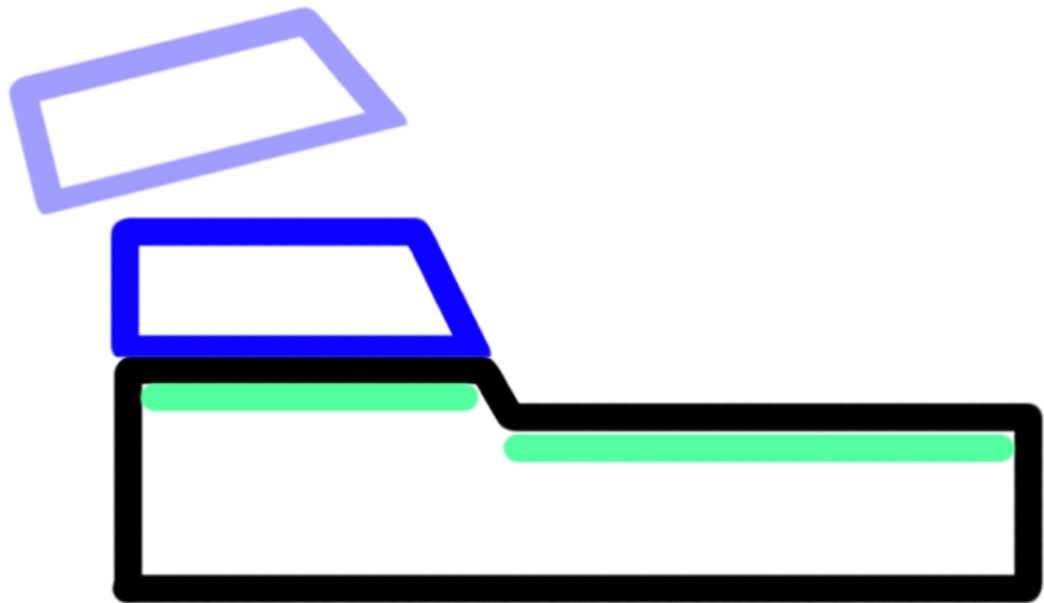
Kuva 48: Cleveland vibratorin pienimmät paineilmatäryt VM-25 ja VM-38. (Cleveland-vibrator.com, 2017)

Toimilaite B:

Toinen testattu tärylaite on Geetechin VIBRO1. Tärylaitetta testatessa huomattiin, että sillä voidaan siirtää komponentteja tärytasolla kahteen suuntaan. Mahdollisuus osien siirtämiseksi kahteen suuntaan lisää merkittävästi joustavuutta syöttölaitteen suunnitteluun. Geeplus ei kuitenkaan myy VIBRO1:tä suurempia tärytoimilaitteita, joten skaalattavaan syöttölaitteen täryksi laite ei sovellu.



Kuva 49: Geeplus VIBRO1 tärytoimilaite. (Geeplus.biz, 2017)

LIITE II: VAIHDETTAVA OSASÄILIÖ

LIITE III: RISKIANALYYSI

Liitteenä laitteelle tehty riskianalyysi. Riskikertoimen laskiessa on käytetty taulukkoa 2, joka on saatu koneturvallisuuden julkaisun SFS-ISO/TR 14121-2 - sivulta 24.

Riskianalyysi

Kone: **Minifeeder**
 Versio: 0.9
 Päivämäärä: 17.11.2017
 Laatija: Matti Suvanto

Huomioita: Alustava versio. Riskianalyysiä tulee jatkaa toiminnallisten komponenttien valinnan jälkeen

Riskikertoimen laskeminen

| | | O1 | | O2 | | O3 | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | A1 | A2 | A1 | A2 | A1 | A2 |
| S 1 | F1 | 1 | | | | 2 | |
| | F2 | | | | | | |
| S 2 | F1 | 2 | | 3 | | 4 | |
| | F2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |

S Vahingon vakavuus

S1: Lievä vamma

S2: Vakava vamma

F Vaaralle altistumisen taajuus tai kesto

F1: Harvoin tapahtuva

F2: Toistuvasti tapahtuva

O Vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyys

O1: Pieni

O2: Keskimääräinen

O3: Suuri

A Vahingon välttämisen tai rajoittamisen mahdollisuus

A1: Mahdollista joissakin tilanteissa

A2: Ei mahdollista

Taulukko 2: Riskikertoimen laskemiseen käytetty taulukko.

| Riskin arviointi (vaaran tunnistaminen) | | | | | | | |
|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------|
| Kone | | Minifeeder | | Analyysin tekijä | | Matti Suvanto | |
| Lähdeaineisto | | | | Nykyinen versio | | 0.9 | |
| Laajuus | | Kokoonpano, käyttötoiminta, tuotantokäyttö | | Päivämäärä | | 16.11.2017 | |
| Menetelmä | | Tarkastuslista ISO 12100:2010, liite B | | Sivu | | 2 | |
| Viite nr | Elinkaari | Tehtävä ISO 12100:2010, taulukko B.3 | Vaaravyöhyke | Onnettomuusskenaario | | | Viite nr |
| | | | | Vaara ISO 12100:2010, Taulukko B.1 | Vaaratilanne ISO 12100:2010, Taulukko B.3 | Vaarallinen tapahtuma ISO 12100:2010, Taulukko | |
| 10 | Kokoonpano ja asennus | Vian etsintä, ongelman selvitys, asetusten tekeminen Manuaalijajo | Syöttölaitteen tärytaso Syöttölaitteen varastotaso | Sormien tai käden puristuminen | Työskentely työalueella koneen käydessä | Käsi joutuu tärytason ja runko-osan väliin koneen käydessä | 10 |
| 20 | Kokoonpano ja asennus | Koneen ja sen komponenttien asennus | Syöttölaite | Oikosulku | Kosketus laitteeseen asennustilanteessa | Kosketus viallisen sähkölaitteen kuumentamaan osaan | 20 |
| 30 | Kokoonpano ja asennus | Koneen ja sen komponenttien asennus | Syöttölaite | Viiltyminen | Kokoonpano | Vahingoittava kosketus teräväreunaiseen komponenttiin | 30 |
| 40 | Tuotantokäyttö | Käyttötoiminta Automaattijajo | Syöttölaitteen tärytaso Syöttölaitteen varastotaso | Sormien tai käden puristuminen | Työskentely työalueella koneen käydessä | Käsi joutuu tärytason ja runko-osan väliin koneen käydessä | 40 |
| 50 | Tuotantokäyttö | Käyttötoiminta Automaattijajo | Koneen lähistö | Sinkoutuva komponentti | Työskentely laitteen läheisyydessä | Kiilautunut komponentti sinkoaa äkillisesti laitteesta | 50 |
| 60 | Tuotantokäyttö | Koneen tai sen komponenttien huolto | Syöttölaite | Oikosulku | Kosketus laitteeseen huoltotilanteessa | Kosketus viallisen sähkölaitteen kuumentamaan osaan | 60 |
| 70 | Tuotantokäyttö | Käyttötoiminta Automaattijajo | Koneen lähistö | Melusta johtuvat vaarat | Työskentely laitteen läheisyydessä | Kesken toiminnon rikkoutunut mekaaninen rakenne | 70 |
| 80 | Tuotantokäyttö | Käyttötoiminta Automaattijajo | Koneen lähistö | Melusta johtuvat vaarat | Työskentely laitteen läheisyydessä | Kesken toiminnon rikkoutunut pneumaatiikkaosa | 80 |
| 90 | | | Koneen lähistö | Vian seurauksena jännitteiseksi tulevat osat | Työskentely koneella | Kosketus jännitteellisiin osiin | 90 |
| 100 | | | Koneen sähkökeskus | Sähköisku jännitteisistä osista | Sähköasennusten teko, muttaminen | Kosketus jännitteellisiin osiin | 100 |

Taulukko 3: Taulukko rikien arvioinnista. Taulukkoon on kerätty mahdollisia riskejä laitteen käyttöön liittyen.

| Riskin arviointi (riskin suuruuden arviointi ja riskin merkityksen arviointi) ja riskin pienentäminen | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---|---|---|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---|---|---|------------------|----------------------------------------|--|--|---------------|----------|--|--|
| Kone | | | | | | Minifeeder | | | | | Analyysin tekijä | | | | Matti Suvanto | | | |
| Lähdeaineisto | | | | | | | | | | | Nykyinen versio | | | | 0.9 | | | |
| Laajuus | | | | | | Kokoonpano, käyttötoiminta, tuotantokäyttö | | | | | Päivämäärä | | | | 16.11.2017 | | | |
| Menetelmä | | | | | | Tarkastuslista ISO 12100:2010, liite B | | | | | Sivu | | | | 3 | | | |
| Viite nr | Riskin suuruuden arviointi (alkuperäinen riski) | | | | | Riskin pienentäminen Suojaustoimenpiteet tai muut riskin pienentämistoimenpiteet | Riskin suuruuden arviointi (riskin pienentämisen jälkeen) | | | | | Tarvitaanko lisää riskin pienentämistä | | | | Viite nr | | |
| | S | F | O | A | RI | | S | F | O | A | RI | | | | | | | |
| 10 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | Tärytasot suunniteltava siten, että osien väliset raot ovat niin pieniä, ettei kättä saa niiden väliin. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ei | | | | 10 | | |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Syöttölaite on kytkettävä oikosululta suojaavan sulakkeen taakse. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ei | | | | 20 | | |
| 30 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | Suunnitteluvaiheessa kiinnitettävä huomiota osien teräviin reunoihin ja särmiin. | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | Ei | | | | 30 | | |
| 40 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | Syöttölaite kytkettävä turvapiiriin taakse, joka katkaisee laitteen virran henkilön pyrkinessä liian lähelle laitetta. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ei | | | | 40 | | |
| 50 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | Tärytasot suunniteltava siten, että osan kiilautumisen mahdollistavia paikkoja jää laitteeseen mahdollisimman vähän. | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ei | | | | 50 | | |
| 60 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Syöttölaite on kytkettävä oikosululta suojaavan sulakkeen taakse. Toiminnallisten komponenttien läheisyyden lisäävä lämpötilaseuranta. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Ei | | | | 60 | | |
| 70 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | Hätäseis-painike, jolla laitteen saa vikatilassa pysäytettyä ja virrattomaksi. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | Ei | | | | 70 | | |
| 80 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | Mahdolliset paineilmatoimilaitteet pidettävä paineistettuna ainoastaan tarvittaessa. Laitteen läheisyyteen sijoitettava paineilman sulkuventtiili. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | Ei | | | | 80 | | |
| 90 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | Suojaosakomponentit sähkökeskuksessa | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | Ei | | | | 90 | | |
| 100 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | Kytkenätyöt sallittuja vain ammattilaisille | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | Varoitustarra | | | | 100 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Taulukko 4: Taulukko riskien arvioinnista. Taulukossa on myös suunnittelutoimia kunkin riskin pienentämiseksi.